



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**

**UTILIZAÇÃO DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLOS NA ANÁLISE
DA SUSCETIBILIDADE EROSIVA NA BACIA DO RIBEIRÃO DO GAMA,
DISTRITO FEDERAL**

MATHEUS PEREIRA A. SANTOS

BRASÍLIA-DF

JULHO DE 2023



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

UTILIZAÇÃO DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLOS NA ANÁLISE DA
SUSCETIBILIDADE EROSIVA NA BACIA DO RIBEIRÃO DO GAMA, DISTRITO
FEDERAL

MATHEUS PEREIRA ARAUJO SANTOS

ORIENTADORA: DRA. POTIRA MEIRELLES HERMUCHE

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Departamento de Geografia da Universidade de
Brasília como requisito para a obtenção do título
de bacharel em Geografia.

BRASÍLIA-DF

JULHO DE 2023

FICHA CATALOGRÁFICA

Pereira Araujo Santos, Matheus

Utilização da equação universal de perda de solos na análise da suscetibilidade erosiva na Bacia do Ribeirão do Gama, Distrito Federal / Matheus pereira Araujo Santos; orientadora Dra. Potira Meireles Hermuche. – Brasília, 2023. 49 p.

Trabalho de conclusão de curso – Departamento de Geografia, Instituto de Ciências Humanas - Universidade de Brasília – UnB, 2023.

1. Erosão – 2. Solos – 3. Geoprocessamento

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Matheus Pereira Araujo Santos

BRASÍLIA-DF

JULHO DE 2023



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

**UTILIZAÇÃO DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLOS NA ANÁLISE DA
SUSCETIBILIDADE EROSIVA NA BACIA DO RIBEIRÃO DO GAMA, DISTRITO
FEDERAL**

Matheus Pereira Araujo Santos

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Geografia da Universidade de Brasília como requisito para a obtenção do título de bacharel em Geografia

Aprovado por:

Potira Meirelles Hermuche, Doutora (GEA-UNB)
(Orientador)

Vinicius Vasconcelos de Souza, Doutor (GEA-UNB)
(Examinador interno)

Eder Renato Merino, Doutor (GEA-UNB)
(Examinador interno)

BRASÍLIA-DF

JULHO DE 2023

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	6
RESUMO	8
ABSTRACT.....	9
1. INTRODUÇÃO	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1 Processos erosivos em bacias hidrográficas.....	12
2.2 Equação Universal de Perdas de Solos - EUPS (Universal Soil Loss Equation - USLE)	15
2.3 O uso dos Sistemas de Informações Geográficas – SIG na aplicação da USLE.....	16
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
3.1. Área de Estudo.....	17
3.2 Procedimentos metodológicos	22
3.2.1. Cálculo da EUPS	23
3.2.2. Fator LS.....	23
3.2.3. Fator R	25
3.2.4. Fator K.....	26
3.2.5. Fator CP.....	27
3.2.6. Cálculo da EUPS - Fator A.....	29
3.2.7. Análise de dados primários e secundários como subsídio à interpretação do resultado.....	29
3.2.8. Visitas de campo	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5. CONCLUSÃO.....	40
6. Referências Bibliográficas.....	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da Bacia do Ribeirão do Gama.....	18
Figura 2: Mapa Geomorfológico da área de estudo.....	19
Figura 3: Mapa Geológico da área de estudo.....	20
Figura 4: Mapa Pedológico da área de estudo.	21
Figura 5: Mapa Hidrográfico da área de estudo.....	22
Figura 6: Mapa de Erodibilidade.....	30
Figura 7: Mapa do Fator LS.	31
Figura 8: Mapa do Fator CP.	31
Figura 9: Mapa de Suscetibilidade Erosiva da bacia.	32
Figura 10: Localização das áreas com maior suscetibilidade erosiva.	32
Figura 11: Vertente com alta declividade.....	33
Figura 12: Sulco Erosivo em uma estrada da região.	34
Figura 13: Campo de murundus Golfinho.	34
Figura 14: Campo de Murundus próximo à nascente.....	35
Figura 15: Núcleo Rural Vargem Bonita.	36
Figura 16: Imagem de 1985 e atual da área 4.....	37
Figura 17: Vertentes 5A e 5C.....	38
Figura 18: Vertente 5B.	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tabela com valores do Fator K.....	27
Tabela 2: Tabela com valores do Fator C.....	27
Tabela 3: Tabela com valores do Fator P.	28
Tabela 4: Tabela com valores do Fator CP.....	28
Tabela 5: Tabela de Classificação de perda de solos.....	29

RESUMO

A Equação Universal de Perda de Solos é uma excelente ferramenta para avaliar a suscetibilidade erosiva de grandes áreas de uma maneira rápida e econômica, podendo ser utilizada com o uso de Sistemas de Informações Geográficas para processar as variáveis que a compõe, sendo elas a erosividade da chuva (fator R), erodibilidade do solo (fator K), comprimento de rampa (fator L), declividade da vertente (fator S), cobertura e uso (fator C) e práticas conservacionistas (fator P). Este trabalho teve como objetivo estimar a susceptibilidade erosiva da sub-bacia do Ribeirão do Gama, no Distrito Federal, utilizando a Equação Universal de Perda de Solos e Sistemas de Informações Geográficas e determinar os principais fatores causadores dos processos de perda de solos da região. Foi possível mapear as áreas mais propensas à erosão e analisar as principais causas dos processos erosivos por meio da interpretação de fatores como declividade, tipos de solo, uso e cobertura e geomorfologia. A análise revelou diversas fragilidades ambientais na região, indicando que a erosão do solo é um problema significativo, entretanto a adoção de medidas de prevenção e mitigação também são possíveis para diminuir a degradação da bacia.

Palavras-chave: Erosão, Solos, Geoprocessamento

ABSTRACT

The Universal Soil Loss Equation is an excellent tool to evaluate the erosion susceptibility of large areas in a fast and economical way, and can be used with the use of Geographic Information Systems to process the variables that compose it, being them the rainfall erosivity (R factor), soil erodibility (K factor), slope length (L factor), slope slope (S factor), cover and use (C factor) and conservationist practices (P factor). The objective of this work was to estimate the erosion susceptibility of the Ribeirão do Gama sub-basin, in the Federal District, using the Universal Soil Loss Equation and Geographic Information Systems and to determine the main factors causing soil loss processes in the region. It was possible to map the areas most prone to detection and analyze the main causes of erosion processes through the interpretation of factors such as slope, soil types, use and cover and geomorphology. The analysis revealed several environmental impacts in the region, indicating that soil ingestion is a significant problem, however the adoption of prevention and mitigation measures are possible to reduce the basin degradation.

1. INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural essencial aos seres vivos, sendo diretamente responsável por sustentar diversas atividades antrópicas e naturais, como a produção de alimentos, obras de engenharia, regulação dos ciclos hidrológicos e de carbono, preservação da biodiversidade, além de várias outras finalidades, porém está sujeito a desgastes que ocorrem por meio da erosão de seu material.

A erosão é uma das principais formas de degradação dos solos, não apenas no Brasil, mas em diversos países, causando prejuízos financeiros, ambientais e sociais nas áreas urbanas e rurais. Diante disto, a preocupação em entender a dinâmica dos processos erosivos e os impactos causados está aumentando cada vez mais, a fim de quantificar e desenvolver técnicas de mitigação e prevenção desses processos.

De acordo com Tricart (1977), a vulnerabilidade ambiental devido à perda de solo está diretamente relacionada com meios instáveis, como condições bioclimáticas agressivas, relevos dissecados, inexistência de cobertura vegetal densa, planícies e fundos de vales sujeitos a inundação e geodinâmica interna intensa. Apesar da erosão ser um fenômeno natural, em alguns ambientes a evolução dos processos erosivos pode ser intensificada pelas próprias características físico-ambientais do local juntamente com a ação antrópica. Um exemplo é a expansão urbana sem o devido planejamento, acompanhada pela supressão da vegetação natural, impermeabilização e compactação do solo, aumentando o escoamento superficial e desencadeando processos erosivos ou a intensificação deles.

A Equação Universal de Perda de Solo (*Universal Soil Loss Equation* – USLE) destaca-se por ser um dos modelos mais utilizados no estudo da erosão hídrica. Foi desenvolvida nos EUA por Wischmeier e Smith em 1978 a partir da análise do escoamento superficial em mais de 10.000 áreas experimentais, sob condições diversas de parâmetros hidroclimáticos, ambientais e antrópicos, em um trabalho intitulado *Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide to Conservation Planning*. Ao longo das últimas décadas, a USLE já foi revisada e adaptada às diferentes realidades e, com o uso de novas tecnologias, tem sido amplamente implementada em estudos de bacias hidrográficas (Írvem et al, 2007).

Um exemplo de uso de novas tecnologias é a adequação do modelo da USLE em ambiente computacional de SIG, permitindo uma otimização de dados e resultados espaciais mais precisos. Meshesha *et al* (2012), por exemplo, realizaram um estudo na planície do vale do *rift* central da Etiópia, identificando pontos críticos de erosão e propondo possíveis cenários de conservação do solo utilizando a equação universal de perda de solo e um software de

sistema de informação geográfica. Graças a esse estudo, foi possível propor oito cenários para reduzir as perdas de solos, sendo um deles, a restauração da vegetação juntamente com estruturas de controle de erosão que resultaria na diminuição de até 76,3% das perdas de solos na área de estudo. No Brasil, Caraminan e Morais (2022) realizaram um estudo na bacia do Córrego Pindaúva, no Paraná, utilizando a equação universal de perda de solos, dados de sensoriamento remoto e Sistema de Informações Geográficas (SIG) para avaliar a distribuição espacial do aumento, diminuição e estabilidade das perdas de solos na bacia. Com os resultados foi constatado que as nascentes prioritizadas em um programa recente de restauração vegetal não estão localizadas em áreas críticas da dinâmica de perdas de solo.

Uma Bacia Hidrográfica, além de ser uma unidade geomorfológica, também é uma unidade de gestão da paisagem em uma área de planejamento ambiental, segundo a Lei Federal nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997. O conceito de Bacia Hidrográfica envolve explicitamente um conjunto de terras drenadas por um corpo d'água principal e seus afluentes e representa a unidade mais apropriada para o estudo qualitativo e quantitativo do recurso água e dos fluxos de sedimentos e nutrientes (Schiavetti e Camargo, 2002). Um dos principais e mais recorrentes impactos em Bacias Hidrográficas é a erosão dos solos que, por sua vez, causa um excesso de sedimentação de canais navegáveis e perda da qualidade da água e do pescado, aumento do risco de extinção de elementos da fauna e flora (Schiavetti e Camargo, 2002).

Na sub-bacia do Ribeirão do Gama, um importante tributário da Bacia do Lago Paranoá, no Distrito Federal, várias feições erosivas podem ser vislumbradas ao longo de sua área. Esta apresenta grande parte de sua vegetação nativa preservada perto de sua nascente, atividades agrícolas e ocupações urbanas em seu médio curso e uma densa atividade urbana na região do seu exutório. Em um contexto regional, a bacia do Ribeirão do Gama alimenta o Lago Paranoá e contribui diretamente para o abastecimento das áreas de agricultura e avicultura dos núcleos rurais de Vargem Bonita e Córrego da Onça, além de também ser uma importante fonte de água e habitat para a fauna presente na Área de Relevante Interesse Ecológico Capetinga Taquara, na Reserva Ecológica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e na Estação Ecológica do Jardim Botânico de Brasília. Devido a sua importância regional e às suas características físicas e de uso e ocupação, se faz interessante uma quantificação das erosões atuantes na área.

Portanto, este trabalho tem o objetivo de estimar, por meio da Equação Universal de Perda de Solos e de Sistemas de Informações Geográficas, a susceptibilidade erosiva da Sub-bacia do Ribeirão do Gama, além de identificar as principais causas dos processos erosivos atuantes.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Processos erosivos em bacias hidrográficas

A bacia hidrográfica pode ser definida como um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, tendo seus divisores de água nas regiões mais altas do relevo, onde a água ou escoam superficialmente formando os riachos e rios, ou infiltra no solo formando nascentes e incrementando o lençol freático (Barrella, 2001). Segundo Christofolletti (1980), as bacias podem ser classificadas, com base no escoamento global, em exorreicas, endorreicas, arreicas e criptorreicas. As bacias exorreicas são aquelas cujo escoamento das águas ocorre de forma contínua até o mar. As endorreicas possuem drenagens internas e não possuem escoamento até o mar. Na bacia arreica não há estruturação em forma de bacia, típica de região desértica onde a precipitação é baixa e as dunas encobrem os padrões de drenagem. Por fim, a bacia criptorreica é uma bacia subterrânea, típica de áreas cársticas. O estudo das bacias hidrográficas é extremamente importante, pois essas constituem uma unidade fundamental para o estudo ambiental e representam a principal fonte de captação de água para o consumo (Pachechenik, 2004).

As sub-bacias são áreas de drenagem dos tributários do curso d'água principal, porém o termo não apresenta a mesma convergência conceitual apresentada para bacia hidrográfica. Para definir sua área diversos autores utilizaram diferentes unidades de medida. Para Faustino (1996), as sub-bacias possuem áreas maiores que 100 km² e menores que 700 km², já para Rocha (1997), são áreas entre 20.000 ha e 30.000 ha (200 km² a 300 km²). Para Santana (2003), bacias podem ser desmembradas em um número qualquer de sub-bacias, dependendo do ponto de saída considerado ao longo do seu eixo-tronco ou canal coletor. Cada bacia hidrográfica interliga-se com outra de ordem hierárquica superior, constituindo, em relação à última, uma sub-bacia. O termo microbacia também aparece na literatura como um sinônimo para sub-bacia, porém para autores como Santana (2003), o termo microbacia, embora difundido em nível nacional, constitui uma denominação empírica, sugerindo, assim, a sua substituição por sub-bacia hidrográfica.

Entre os principais fatores que definem as características de escoamento superficial e de infiltração da água em uma bacia, está o tipo de solo e uso e ocupação dele. Isso afeta diretamente a dinâmica hídrica e a vazão média da bacia. Um Latossolo, por exemplo, tem alta capacidade de reter água e alimentar o lençol freático, que por sua vez, alimenta os cursos d'água, fazendo com que a vazão média da bacia se mantenha alta ao longo do ano. Entretanto,

esse mesmo solo quando impermeabilizado devido a ocupação urbana, diminui drasticamente a sua capacidade de retenção de água, fazendo com que o escoamento superficial aumente juntamente com o transporte de sedimentos em direção aos cursos d'água, causando assoreamento e diminuindo a vazão da bacia.

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (2013), solo é uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos; contém matéria viva e podem ser vegetados na natureza e, eventualmente, terem sido modificados por ações do homem (Santos *et al.*, 2018). Além disso, também é o principal substrato no qual as plantas se desenvolvem e de onde dependem todos os organismos vivos (Manahan, 1999).

Os limites do solo são: o limite superior, que entra em contato com a atmosfera; limite lateral que podem entrar em contato com corpos d'água superficiais, rochas, gelo, aterros, etc; e o limite inferior, normalmente difícil de identificar claramente, porém consiste como sendo o contato com a rocha dura ou materiais que não apresentam sinais de influência de microrganismos. A partir da superfície, o solo está organizado em seções aproximadamente paralelas e distintas entre si de acordo com as características peculiares de cada seção. Tais seções são denominadas horizontes, que são determinados a partir do próprio processo de formação do solo. Fazendo uma simples analogia, os horizontes seriam a “impressão digital” dos solos, de modo que o conhecimento desta informação não só é fundamental para o desenvolvimento científico, mas também é muito importante para definir ações de uso e manejo do solo (Borges, 2021) evitando, por exemplo, processos erosivos.

A erosão é um processo natural, também conhecido como erosão geológica, em que a remoção de partículas do solo acontece de maneira equilibrada e em longos períodos de tempo, e que vem modificando a crosta terrestre formando colinas suaves, planícies e vales ricos em nutrientes (Bertoni & Lombardi Neto, 2012). Já a erosão dos solos, de acordo com definições de Da Silva (1995) e Bertoni & Lombardi Neto (2012), consiste em um grupo de processos que modificam a superfície terrestre, por meio da desagregação de partículas, decomposição ou remoção das condições originais de formação do solo devido a ação da água, vento, gelo, neve, plantas, animais ou do homem.

Em ambientes tropicais, como o Brasil, o principal agente erosivo é o hídrico, pois os totais pluviométricos são mais elevados do que em outras regiões do planeta e as chuvas se concentram em certas estações do ano, potencializando o poder erosivo (Guerra *et al.*, 2005). Apenas no Brasil, são estimados anualmente a perda por erosão de quinhentos milhões de toneladas de terra, causando redução da qualidade do solo devido à perda de nutrientes; redução

na capacidade de infiltração e retenção de umidade; deposição de materiais em baixadas e reservatórios; e, redução do potencial produtivo da terra pelo desgaste do solo (Bertoni & Lombardi Neto, 2012). Além da pluviosidade, a erosão hídrica também está relacionada a diferentes aspectos como a geologia, o tipo de solo, a vegetação, a posição do nível freático e a geomorfologia (Macêdo, 2009). Vale lembrar que os fatores mencionados não são capazes de causar erosões de forma individualizada, porém esse cenário muda completamente quando combinados.

O primeiro passo para a erosão é o impacto das gotas de chuva no solo desprotegido, causando o efeito “splash”, que nada mais é do que a forte desagregação das partículas do solo. Após a saturação do solo com água, poças começam a ser formadas em pequenas depressões na superfície, ocasionando posteriormente no escoamento superficial desse fluxo pela encosta e desencadeando o processo de transporte e deposição das partículas desagregadas do solo, causando assim a erosão. Esse processo de escoamento pode ocasionar erosão laminar ou linear. A erosão laminar é causada pelo fluxo de uma lâmina de água em solos com poucos obstáculos, como rochas ou vegetação, acontece por desgastes uniformes e suaves em toda a continuidade de uma camada superficial de solo, durante fortes chuvas (Macêdo, 2009). Esse tipo de erosão costuma causar prejuízos socioeconômicos e ambientais consideráveis por meio principalmente do assoreamento de cursos d’água, que por sua vez, prejudica a navegabilidade e mata a fauna e flora. Por outro lado, a erosão linear é manifestada na forma de sulcos, ravinas ou voçorocas pela concentração de linhas de fluxo de escoamento superficial, apresentando maiores risco de formação em áreas de maior declividade (Macêdo, 2009). A concentração de fluxo nos sulcos aumenta a energia cinética e provoca o agravamento e ramificação da erosão, escavando ainda mais seu leito e resultando no surgimento de ravinas e posteriormente, voçorocas.

No caso das bacias hidrográficas, o sedimento gerado pela erosão e desagregação de partículas de solo nas encostas da bacia, acaba depositando nas áreas mais baixas e são transportados e distribuídos pela drenagem para o exutório, onde se depositam em outras bacias. Já outra parte do sedimento se deposita temporariamente ou permanentemente nas encostas ou nos próprios canais (Walling, 1983). A magnitude desse processo de transferência desses sedimentos vai ser influenciada pelos fatores geomorfológicos, ambientais e hidrológicos da bacia (Walling, 1983).

2.2 Equação Universal de Perdas de Solos - EUPS (Universal Soil Loss Equation - USLE)

Ao longo do século XX, diversos modelos matemáticos foram sendo desenvolvidos e aperfeiçoados para estimar a perda de solo devido a uma demanda do setor agrícola, principalmente nos Estados Unidos da América. Um dos precursores foi Hugh Hammond Bennett, agrimensor do USDA *Bureau of Soils* de 1903 até a década de 1920, que emergiu como um porta-voz nacional e defensor da conservação do solo e da pesquisa sobre erosão do solo. Em seu trabalho de mapeamento de solos, ele observava terras cultivadas erodidas e de que modo isso destruía a produtividade agrícola. Bennett chamou a atenção do público e do Congresso dos Estados Unidos para o problema da erosão. A seca devastadora que ocorria na época, problemas com erosão eólica e tempestades de poeira do "Dust Bowl" nas Grandes Planícies influenciaram também o Congresso americano a fornecer um financiamento federal em 1929 para pesquisas sobre erosão do solo e posteriormente, o surgimento de programas federais de conservação de solo. Os estudos de erosão laminar têm sido subsidiados por modelos de predição, que possibilitam a previsão e a quantificação de perda de solo, além de também permitir, com a análise de diferentes variáveis, a seleção de práticas de manejo e controle que visem o uso racional dos solos (Bertoni; Lombardi Neto, 2012). A aplicação dos modelos quantitativos foi ainda mais facilitada com o desenvolvimento dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), que representaram um maior suporte para a análise espacial de dados.

O primeiro modelo matemático conhecido para estimar a perda de solos foi publicado em 1940 por Austin W. Zingg, engenheiro agrônomo líder do *Wind Erosion Research Unit's* - WERU que publicou os resultados de um estudo abrangente sobre os efeitos da inclinação e comprimento da encosta na erosão de parcelas sujeitas a chuvas naturais. O modelo relacionava a perda de solo com a declividade e o comprimento da vertente. Posteriormente em outros estudos foram incluídas a influência da cobertura vegetal, práticas conservacionistas, fatores de solo, de manejo e chuva. Em 1947 um grupo diversificado de pesquisadores liderados por G.W. Musgrave se reuniu para avaliar os fatores envolvidos na erosão do solo. Eles representavam uma gama muito ampla de experiências de erosão, produção agrícola, solos e clima. A partir desse trabalho, foi desenvolvida uma equação denominada equação de Musgrave, que viria a se tornar a base para o desenvolvimento da Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS) de Wischmeier & Smith (1978), que foi proposta devido à problemática ligada aos modelos previamente desenvolvidos, em que a falta de parâmetros básicos para replicar o modelo em

outras bacias hidrográficas não era possível, sendo atualizada pelos autores para a previsão da média anual de erosão laminar, permitindo auxiliar no planejamento do uso e ocupação do solo e até mesmo no Zoneamento Ecológico Econômico (Crepani *et al.*, 2001).

A EUPS foi criada para aplicação em pequenas áreas de clima temperado, entretanto, seu uso em regiões tropicais e em escala regional é possível, principalmente, em um enfoque qualitativo a fim de discriminar áreas de maior e menor suscetibilidade à erosão. Um exemplo de emprego da EUPS em ambiente tropical foi um trabalho publicado por Hailesslassie, Priess, Veldkamp, Teketay, e Lesschen em 2006, onde a erosão de algumas áreas agrícolas na Etiópia foi estimada pela equação universal de perda de solo e por modelagem de processos de paisagem em multidimensões e escalas (LAPSUS) no âmbito de um estudo mais amplo sobre avaliação de esgotamento de nutrientes do solo. No Brasil, também foi publicado por Borges (2013) na bacia do rio Carinhanha, um tributário do Rio São Francisco, com o objetivo de mapear e analisar a suscetibilidade erosiva da bacia utilizando a EUPS a fim de subsidiar o planejamento territorial ambiental na área utilizando.

2.3 O uso dos Sistemas de Informações Geográficas – SIG na aplicação da USLE

A adequação do modelo da EUPS em ambiente computacional de um Sistema de Informação Geográfica - SIG permite uma otimização e resultados espaciais mais precisos. Os Sistemas de Informação Geográfica destacam-se por possibilitarem a análise e a simulação de dados comumente dispersos e independentes oriundo de diversas fontes, se mostrando um hábil instrumento de apoio à tomada de decisão (Silveira e Filho, 2006).

A aplicação da EUPS, em diversas escalas, tem sido facilitada pelo uso de SIGs (sistemas de informações geográficas), os quais têm se mostrado eficientes na integração de diferentes dados temáticos e na geração de novos produtos cartográficos, especialmente em estudos sobre perda de solo (Pinto, 2005). O cálculo do fator LS, por exemplo, pode ser obtido por meio de matemática de bandas em softwares de SIG a partir do MDE ou MDT. Podem também ser usados os algoritmos *Catchment Area* pelo método *Multiple Flow Direction* conforme Quinn *et al.* (1991) e *Slope* baseado em Horn (1981), respectivamente, para obter as camadas de área de contribuição e declividade.

Atualmente, existe uma variedade de SIGs disponíveis de forma gratuita como o software QGIS, com este, sendo uma eficiente ferramenta na execução de atividades envolvendo a EUPS. Com a obtenção de todas as variáveis da EUPS, é possível realizar a álgebra de mapas por meio da ferramenta Calculadora *Raster* do próprio software QGIS. O resultado da

integração dos fatores na equação é o mapa da estimativa de perda de solo por erosão hídrica laminar.

Diodato e Ribeiro (2020), por exemplo, realizaram um estudo em Dourados, Mato Grosso do Sul, e elaboraram uma carta de susceptibilidade erosiva da Bacia Hidrográfica do Córrego Curral de Arame utilizando a EUPS como ferramenta para estimar a perda de solo por erosão laminar juntamente com o uso de sistemas de informações Geográficas (SIG), mais especificamente o software livre QGis. Graças a esses recursos, foi possível observar que o fator que apresentava maior influência sobre os valores de estimativa das perdas de solo para a Bacia Hidrográfica estudada, foi o fator CP- Uso e Manejo e Práticas Conservacionistas. Importante salientar que com um mapa de susceptibilidade erosiva e uma base de dados em SIG gerada com alta resolução espacial, é possível contribuir para o monitoramento da qualidade ambiental e elaboração de planos de recuperação e conservação da área de áreas em risco.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de Estudo

A área de estudo abrange toda a Sub-bacia do Ribeirão do Gama, localizada na Região Administrativa do Park Way, no Distrito Federal. Essa está inserida na Bacia do rio Paranoá, fazendo parte da Área de Proteção Ambiental (APA) Gama e Cabeça de Veado. A APA está localizada na porção centro-sul do Distrito Federal e possui uma área de 25.000ha, englobando as porções das regiões administrativas do Lago Sul, Setor de Mansões Dom Bosco - SMBD, Park Way, Catetinho, Candangolândia e os Núcleos Rurais de Vargem Bonita e Córrego da Onça (Figura 5).

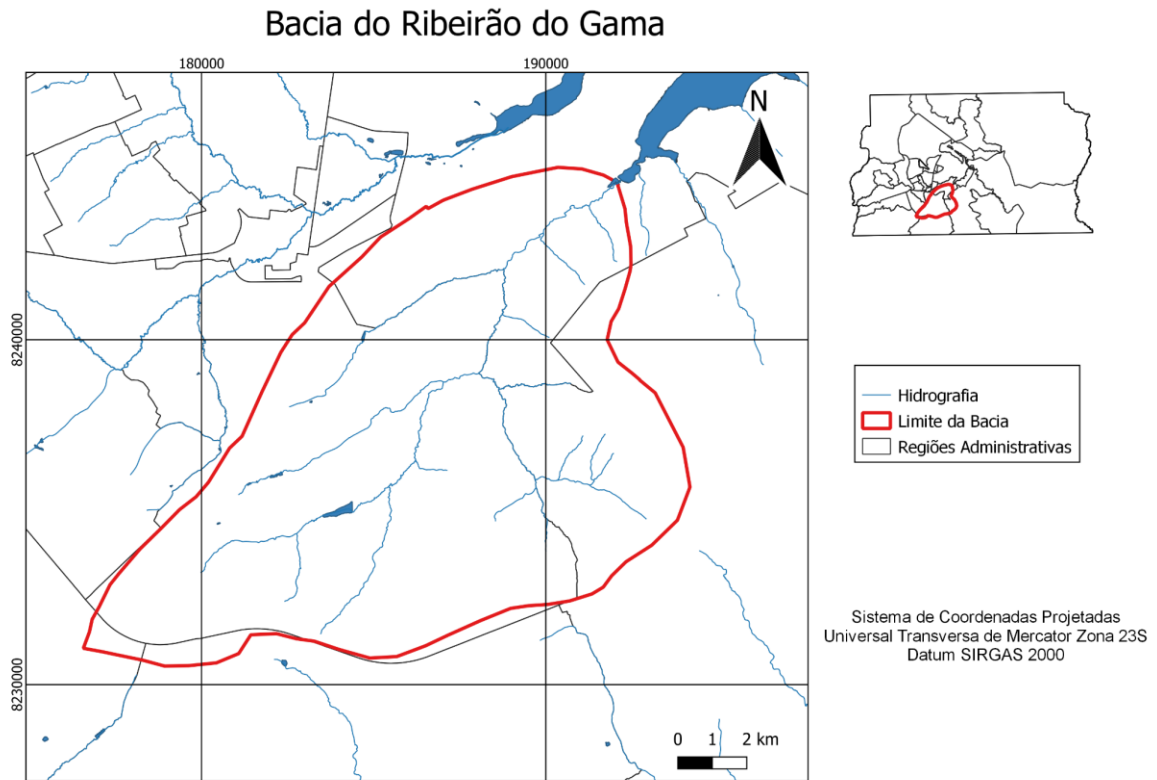


Figura 1: Localização da Bacia do Ribeirão do Gama

O ribeirão do Gama, drenagem principal da Sub-Bacia, borda a Fazenda Água Limpa da Universidade de Brasília que, por sua vez, faz parte da Área de Relevante Interesse Ecológico Capetinga/Taquara. Possui uma extensão de 20,76 km e sua bacia ocupa uma área de aproximadamente 14.500,4 ha, com um perímetro de 58,2 km (Felfili e Santos, 2002). Nele se encontra a barragem que fornece água para as Chácaras do Núcleo Hortícola de Vargem Bonita, enquanto das suas nascentes é captada a água potável para abastecimento urbano do Setor de Mansões do Park Way.

Os tributários de sua margem direita estão bem preservados e compõem as áreas contíguas de preservação presentes na região. Encontram-se nessas condições as nascentes do próprio Ribeirão do Gama (Área de Proteção de Manancial do Catetinho), os córregos Capetinga e Taquara (Área de Relevante Interesse Ecológico Capetinga Taquara, Reserva Ecológica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE e Estação Ecológica do Jardim Botânico de Brasília), bem como pequenos contribuintes, como os córregos Macacos, Gritos e Cacherê (UNESCO, 2003).

De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, o clima da região é Tropical de Savana (CWA) com duas estações bem definidas: uma chuvosa, entre o mês de outubro e abril, e uma seca, entre o mês de maio e setembro, com um índice médio pluviométrico anual em torno de 1.478,8mm.

Durante o período mais quente, primavera e verão, são comuns temperaturas elevadas, com outubro, o mês mais quente, apresentando uma média de temperatura de 23,1°C. Durante o período mais frio, correspondente ao outono e inverno, as temperaturas baixam devido à chegada de massas polares vindas da Antártida, com julho, o mês mais frio, apresentando uma média de temperatura de 19,3°C. Nos meses de agosto e setembro, o índice de evaporação é de 318,3mm e 309,6mm, respectivamente, sendo o período com a maior evaporação no ano, coincidindo também com a época mais seca e de menor pluviosidade (INMET, data).

A Sub-Bacia do Ribeirão do Gama está inserida dentro de duas unidades geomorfológicas: a Chapada da Contagem e a Depressão do Paranoá. A área de chapada corresponde a pequenas porções da parte sul e sudoeste da bacia, caracterizada por um relevo plano e suave ondulado. Já a área localizada na Depressão do Paranoá corresponde à grande parte da bacia e caracteriza-se por apresentar regiões inclinadas e fracamente dissecadas, que partem da base das chapadas em direção aos vales dos cursos d'água.

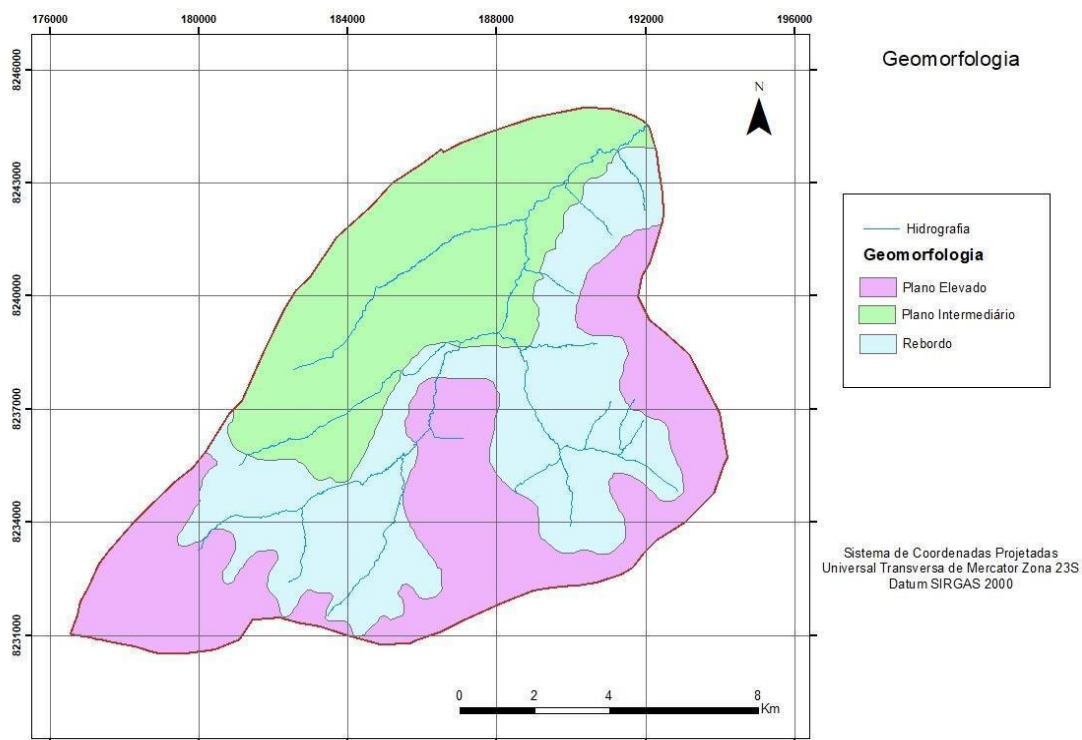


Figura 2 - Mapa Geomorfológico da área de estudo

O Distrito Federal está localizado no setor oriental da Província Estrutural do Tocantins, mais especificamente, na porção centro-sul da Faixa de Dobramentos Brasília (Almeira e Hasui, 1984; Marini et al., 1981, 1984). A sub-bacia do Ribeirão do Gama está inserida no contexto geológico do Distrito Federal, onde são reconhecidos quatro conjuntos litológicos: os grupos Canastra, Paranoá, Araxá e Bambuí (Faria,1995). Destes, apenas o Grupo Paranoá ocorre na área da sub-bacia, mais especificamente as unidades A (Formação Ribeirão do Torto) composta por ardósias e R3 (Formação Serra da Meia Noite) composta por Metarritmito Arenoso (figura 7).

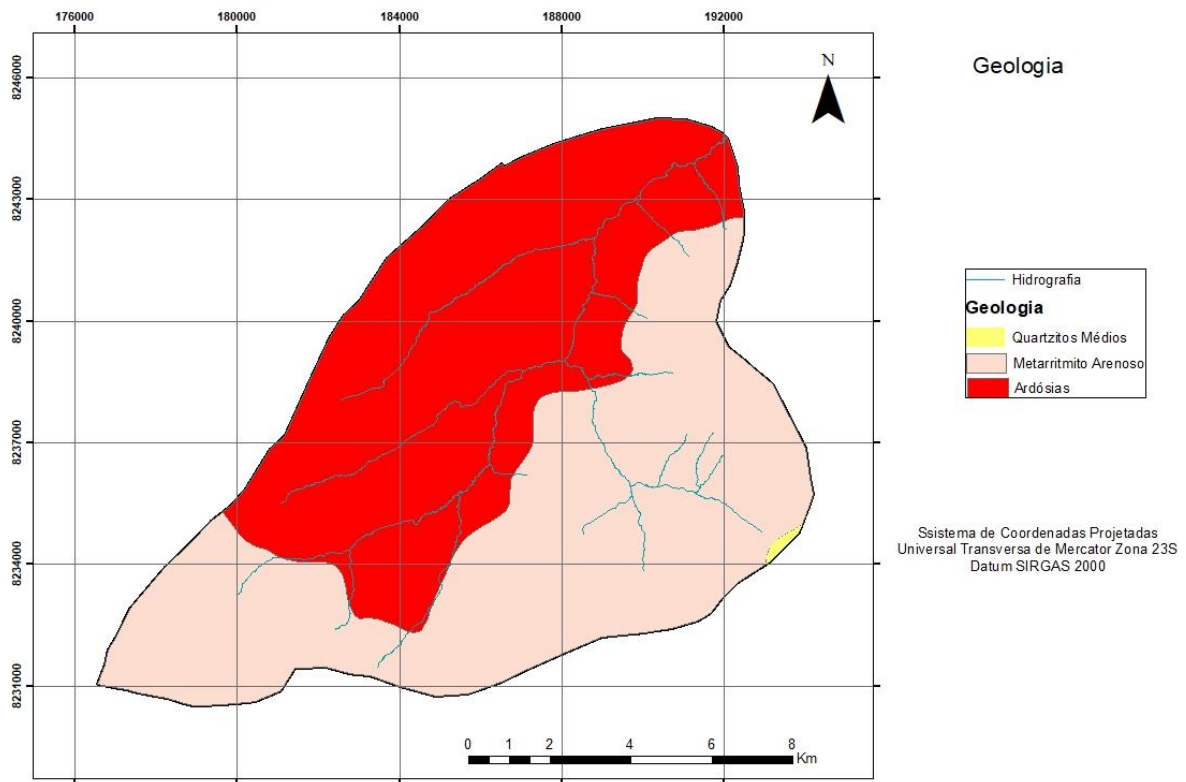


Figura 3 - Mapa Geológico da área de estudo

A sub-bacia apresenta, em sua maioria, a ocorrência de Latossolo Vermelho e Latossolo Amarelo com caráter distrófico, existindo principalmente nas áreas correspondentes à Depressão do Paranoá, enquanto nas áreas de relevo mais movimentado há ocorrência de Cambissolo. Já nas áreas de vales, onde há presença das drenagens, matas de galeria e veredas, existe ocorrência de solos hidromórficos como Gleissolos (Figura 8).

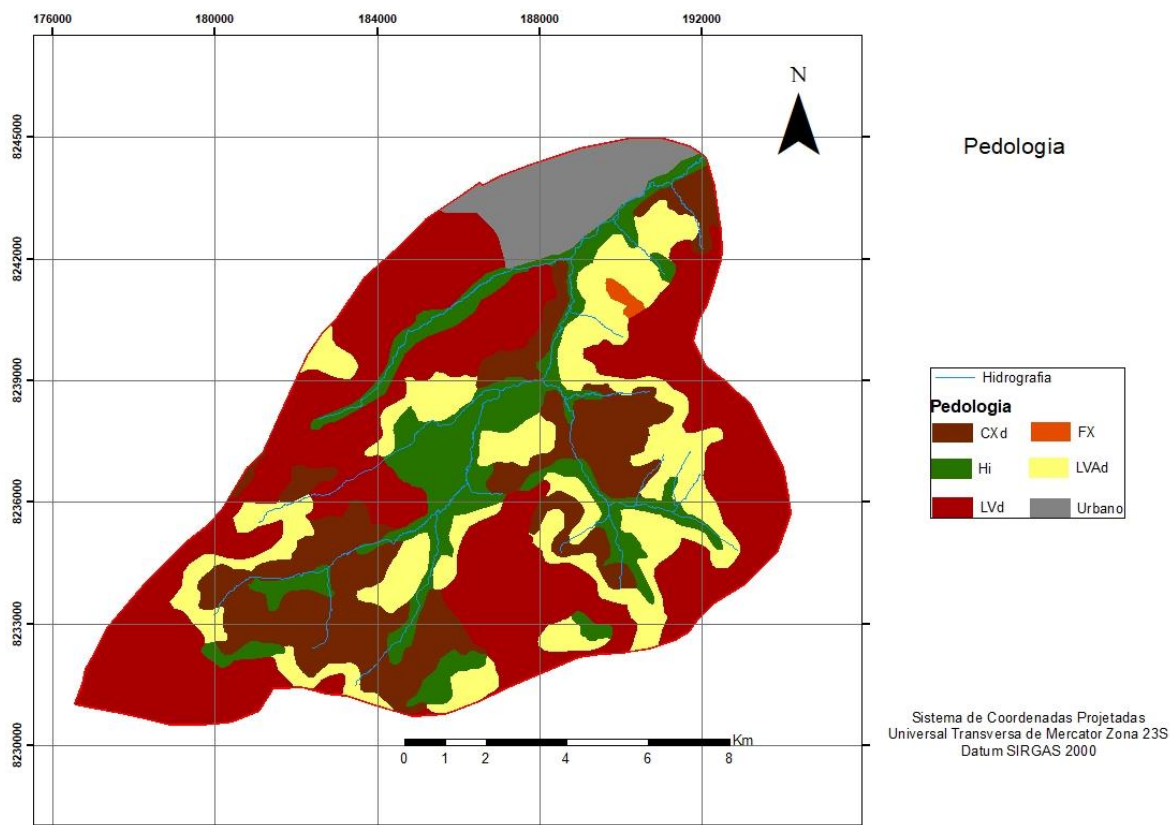


Figura 4 - Mapa Pedológico da área de estudo

O Ribeirão do Gama é caracterizado por um grande número de drenagens perenes (Figura 9), embora alguns afluentes de primeira ordem sequem completamente durante o período de estiagem. Durante o período das chuvas, ocorrem enxurradas de curta duração, características de pequenas drenagens de cabeceiras, que provocam grande erosão e deixam os canais cheios de troncos. As vazões médias do Ribeirão do Gama, segundo dados da CAESB (DATA), para um período de 30 anos (1971 a 2001), oscilam entre 1,5 ml/s a 3,0 ml/s. As águas são pobres em nutrientes, a condutividade geralmente não ultrapassa 10 mmhos e a concentração de oxigênio dissolvido não é muito baixa (varia entre 7 e 10mg/l).

As drenagens que ocorrem na Área de Proteção de Manancial do Catetinho, na Área de Relevante Interesse Ecológico Capetinga Taquara, Reserva Ecológica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE e na Estação Ecológica do Jardim Botânico de Brasília são cobertas por uma densa mata de galeria que impede a penetração de raios solares, ocasionando as baixas temperaturas da água, que não ultrapassam 27 °C no verão, e no inverno podem ser inferiores a 10° C. A ausência de luz solar, associada à corrente fluvial, reduz a produtividade primária nos canais, restringindo o desenvolvimento de fitoplâncton, zooplâncton e hidrófitas. Já os cursos d'água presentes fora das áreas de proteção estão com a qualidade da água

comprometida pelo uso inadequado do solo em suas bacias de drenagem. Os tributários, sob forte influência agrícola, apresentam concentrações expressivas de matéria orgânica e de nitrogênio, proveniente de fertilizantes utilizados no Núcleo Rural Vargem Bonita. Aqueles sob influência urbana, além da carga elevada de nutrientes (nitrogênio e fósforo), apresentam contaminação bacteriana expressiva, indicando contaminação pelos esgotos domésticos acondicionados em fossas. O canal principal do Ribeirão do Gama constitui-se, assim, em um mosaico de trechos de poluição concentrada (localizados a jusante dos afluentes sob influência agro-urbana) e trechos de poluição diluída (localizados a jusante dos tributários vindos das unidades de conservação), apresentando, entretanto, como tendência geral, efeitos cumulativos em direção a sua foz no Lago Paranoá (UNESCO, 2003).

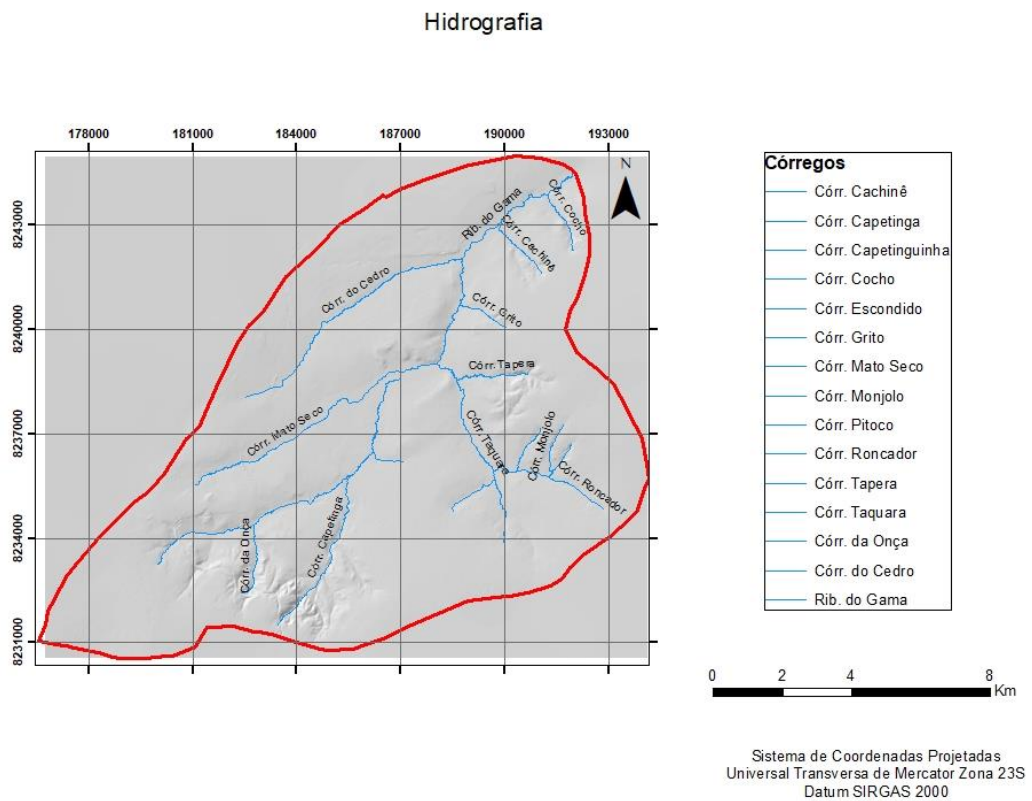


Figura 5 - Mapa hidrográfico da área de estudo

3.2 Procedimentos metodológicos

3.2.1. Cálculo da EUPS

A EUPS (A) é o produto dos seguintes atributos: Erosividade da chuva (R), Erodibilidade do solo (K), Comprimento de rampa (L), Gradiente de declividade (S), Cobertura superficial ou uso e manejo (C) e; Práticas conservacionistas (P), descrita a seguir:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

Onde:

R - MJ.mm/(ha.h)

K - ton. ha.h./ha.(MJ.mm)

L - adimensional

S - %

C - adimensional

P - adimensional

3.2.2. Fator LS

O fator topográfico (LS) representa o comprimento da rampa e o grau de declive. Ambos são importantes fatores relacionados ao relevo, que interferem na intensidade do escoamento superficial e, por consequência, no grau de erosão do solo.

No âmbito do geoprocessamento, a estimativa do comprimento de rampa se dá pelo conceito de área de contribuição, obtido a partir de Modelo Digital de Elevação (MDE) ou Modelo Digital de Terreno (MDT) (Guimarães *et al*, 2011). Nessa metodologia, a forma do relevo descrita pelo MDE modela a influência sobre os processos erosivos causados pela concentração e pela velocidade do escoamento superficial. Dentre as diversas metodologias para obtenção do fator LS, pode-se optar pela metodologia proposta por Moore *et al*. (1991), devido à facilidade de processamento e à ampla aplicação na literatura consultada, descrita pela equação

$$LS = (n+1) \left(\frac{V}{22,13} \right)^{0,4} \left(\frac{\sin \theta}{0,0896} \right)^{1,3}$$

Onde:

n = número de células que contribuem para o fluxo na célula atual

V = acumulação do fluxo multiplicada pelo tamanho da célula

θ = ângulo da declividade em graus

Para a obtenção do fator LS foi adquirido o Modelo Digital de Elevação (MDE) da área de estudo a partir do banco de dados TOPODATA, com resolução espacial de 30 metros. Apesar do dado ter um extenso pré-processamento (TOPODATA, 2023), optou-se por aplicar a ferramenta de geoprocessamento que preenche depressões em um raster de superfície para remover pequenas imperfeições nos dados. Com base no MDE ajustado foram geradas as variáveis da equação de Desmet e Govers (1996) para a obtenção do fator L, que constitui na aplicação do conceito de área de contribuição para o cálculo automático do comprimento de rampa, onde emprega-se a declividade, direção de fluxo da bacia hidrográfica e o fluxo acumulado, descrita a seguir.

$$L_{i,j} = \frac{(A_{i,j-n} + D^2)^{m+1} - (A_{i,j-n})^{m+1}}{D^{m+2} \times X_{i,j}^m \times 22,13^m}$$

Onde:

$L_{i,j}$ = fator de extensão de vertente de uma célula com coordenadas;

$A_{i,j-n}$ = área de contribuição de uma célula com coordenadas;

D : tamanho da grade de células (metros);

$X_{i,j}$ = valor da direção do fluxo;

m = coeficiente que assume os valores reclassificados da declividade

A declividade foi calculada em graus, sendo convertida posteriormente para radianos pela ferramenta calculadora raster do software QGis 3.16.9. Esse processamento gerou a variável m da equação. Foram calculadas também a direção de fluxo e o fluxo acumulado no mesmo software. De posse das variáveis geradas, foi calculado o fator L por meio da calculadora raster.

Para a geração do fator S, foi usada a condicional a seguir, que utiliza apenas a declividade:

$$S = \begin{cases} 10,8 \operatorname{sen}\Theta + 0,03 \text{ (tg}<9\%) \\ 16,8 \operatorname{sen}\Theta + 0,50 \text{ (tg}>9\%) \end{cases}$$

Por fim, para obter o Fator LS, foram multiplicados os resultados de L e S na calculadora raster SAGA.

3.2.3. Fator R

O fator Erosividade (R) corresponde à capacidade erosiva da chuva em contato direto com o solo. Este fator depende das características como: intensidade, duração, distribuição e tamanho das gotas de chuva. Lombardi Neto e Moldenhauer (1980) propõem para o município de Campinas o Índice de Erosividade (EI) baseado na média do total mensal (r) e anual (P) de precipitação em milímetros de uma determinada estação pluviométrica ou sensor.

$$EI = 67,355 \left(\frac{r^2}{P} \right)^{0,85}$$

Conhecendo-se o Índice de Erosividade para cada estação pluviométrica aplica-se o cálculo do Fator R pela equação de Wischmeier & Smith (1978) considerando a energia cinética da chuva (EI):

$$R = \sum_{i=1}^{12} EI_{30 i}$$

Para uma estimativa confiável do Fator R é necessária uma análise temporal relativa a um período de 10 a 20 anos (Wischmeier & Smith, 1978).

Devido ao fato dos dados de chuva das estações pluviométricas da bacia estarem incompletos, optou-se por usar dados de chuva de um sensor para o cálculo do fator R. Portanto, foram obtidos dados de chuva a partir do *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data* (CHIRPS, 2023), que consiste em um conjunto de dados de precipitação quase global adquiridos a partir de imagens de satélite e dados de estações in-situ. Esse conjunto de dados foi criado em colaboração com cientistas do USGS e da *Earth Resources Observation and Science Center* (EROS) com o objetivo fornecer conjuntos de dados completos, confiáveis

e atualizados para vários objetivos de alerta precoce, como análise de tendências e monitoramento sazonal de secas.

Foram adquiridas imagens mensais de precipitação com uma resolução de pixels de 5 quilômetros, dos últimos 10 anos da área de estudo. Uma vez adquiridas, foi calculada a média de pluviosidade de todos os anos para cada mês para posteriormente ser obtido a média anual. Essa etapa é importante para a obtenção das variáveis r e p da equação do Índice de Erosividade (EI).

Após achar as variáveis necessárias, foi então calculado o Índice de Erosividade de cada mês do ano para, no final, calcular o Fator R que consiste na soma total de todos os valores mensais de erosividade. De posse do *raster* com o valor de R , foi feita apenas uma reamostragem de pixels, optando por uma resolução de 10 metros.

3.2.4. Fator K

A erodibilidade do solo (K) é uma propriedade inerente ao tipo de solo, sendo definida pela velocidade de infiltração, permeabilidade e capacidade de armazenamento de água no solo, além da resistência às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte das partículas de solo pela água (Bertoni e Neto, 2012). A obtenção desse fator ocorre por análises experimentais, sendo determinado pela quantidade de perda de solo por unidade de índice de erosão da chuva. Essa metodologia baseia-se na observação da quantidade de solo erodida em determinada área, delimitada por 25 m de comprimento, 4 m de largura e um declive de 9% (Wischmeier & Smith, 1978). Entretanto, a metodologia recomenda que para a obtenção do fator K , a observação temporal deve ser de pelo menos 10 anos para que seja possível mensurá-lo definitivamente. Apesar dessa limitação, diversos pesquisadores desenvolveram experimentos para a obtenção do fator K aplicável aos mais variados tipos de solos brasileiros, dentre os quais é possível destacar Correchel (2003), Albuquerque et al. (2005) e Farinasso et al. (2006), por exemplo. Desse modo, devido às limitações, optou-se por utilizar valores de K associados a cada solo disponíveis na literatura, compilados no trabalho de Souza e De Paula (2019) - Tabela 1.

A espacialização dos valores de k se deu a partir do dado vetorial de solos provenientes do Geoportal (2023) por meio da associação das classes encontradas na área de estudo com os valores provenientes da literatura.

TIPO DE SOLO	FATOR DE ERODIBILIDADE (K)	FONTE
Argissolo Vermelho-Amarelo	0,044	Correchel (2003)
Gleissolo Sálico Órtico	0,045	Marques <i>et al.</i> (1997)
Latossolo Vermelho-Amarelo	0,010	Silva <i>et al.</i> (1994)
Luvissoilo Crômico Órtico	0,013	Albuquerque (2005)
Neossolo Quartzênico	0,009	Correchel (2003)
Neossolo Litólico	0,036	Farinasso <i>et al.</i> (2006)
Planossolo Háptico	0,057	Farinasso <i>et al.</i> (2006)
Planossolo Hidromórfico	0,057	Farinasso <i>et al.</i> (2006)
Vertissolo	0,045	Marques <i>et al.</i> (1997)

Tabela 1 – Tabela com os valores do Fator K para cada tipo de solo. Fonte: Souza e De Paula (2019)

3.2.5. Fator CP

O Fator CP de forma conjunta é definido como a relação entre a perda de solo esperada das áreas com cultivos e vegetação e as áreas descobertas. O Fator C (uso e manejo) pode ser definido como a relação esperada entre as perdas do solo de uma área cultivada, segundo um manejo qualquer, e as perdas correspondentes de um solo na mesma área, mantendo o solo descoberto e cultivado, de acordo com a Tabela 2, definida por Bertoni e Neto (2012).

CATEGORIA DE USO E COBERTURA	FATOR DE USO E MANEJO (C)
Água	0,000000
Caatinga	0,017800
Agricultura	0,542900
Solo exposto	0,100000
Afloramento rochoso	0,000001
Vegetação preservada	0,000100
Urbano	0,000050

Tabela 2 – Tabela com os valores do Fator C para cada categoria de uso e cobertura. Fonte: Bertoni e Neto (2012)

O Fator P (prática conservacionista), por sua vez, é caracterizado como a relação entre a intensidade esperada de perdas com determinada prática conservacionista e aquelas quando a cultura está plantada no sentido do declive (morro abaixo) e foi definido pelos mesmos autores – Tabela 3.

PRÁTICA DE CONSERVAÇÃO	FATOR DE PRÁTICA CONSERVACIONISTA (C)
Plantio morro abaixo	1,00
Plantio em curva-de-nível	0,50
Alternância de plantios em curva de nível e áreas sem cultivo	0,40
Corredores de vegetação	0,20
Áreas de vegetação preservada	0,05
Outros (água, urbano)	0,00

Tabela 3 - Tabela de valores do Fator C para cada tipo de prática conservacionista Fonte: Bertoni e Neto (2012)

Desse modo, o fator CP pode ser obtido por meio de um mapa de uso e cobertura da terra derivado de classificação de imagem de sensoriamento remoto, sendo atribuídos valores para cada classe de acordo com Stein *et al.*(1987) - Tabela 4.

Classe	Fator CP
Corpos d água	0,0
Área Urbana	0,0
Áreas Inundáveis ou alagadas	0,0
Mata Ciliar e Cerradão	0,00004
Cerrado	0,00007
Área Rural de Uso Diversificado	0,2

Tabela 4 - Fonte: Stein *et al.*,(1987)

Para geração do Fator CP da área de estudo foi utilizado o dado vetorial de uso e cobertura do Distrito Federal da base de dados do Sistema Distrital de Informações Ambientais (SISDIA) e as classes foram associadas aos valores descritos na Tabela 4. Os fatores C e P são frequentemente calculados em conjunto ao estudar a perda de solos em uma bacia hidrográfica, sem especificar o uso agrícola. Stein *et al.* (1987) argumentam que, quando o objetivo do estudo é definir formas mais adequadas de produção agrícola para minimizar os impactos ambientais, os fatores C e P devem ser abordados separadamente. No entanto, ao investigar a erosão do

solo, essas variáveis estão tão interligadas que devem ser analisadas conjuntamente. Portanto, optou-se por calcular os dois fatores juntos, visto que neste trabalho os fatores C e P não serão avaliados com base no estágio de desenvolvimento das culturas, mas sim no uso e ocupação da terra.

Após o cálculo de todos os fatores, os dados vetoriais resultantes foram convertidos em arquivos raster usando software ArcMap 10.8.

3.2.6. Cálculo da EUPS - Fator A

De posse de todos os fatores que compõem a equação, utilizou-se a calculadora raster do QGIS para multiplicar os fatores R, K, LS e CP, resultando no Fator A. Para a elaboração do mapa final de perda de solos na bacia foi feita a reclassificação do dado a partir da classificação da Organização para a Alimentação e Agricultura (FAO) de 1967, de acordo com Guimarães (2011) – Tabela 5.

Perda de Solo (ton. ha ⁻¹ ano ⁻¹):	Grau de Suscetibilidade Erosiva:
- < 10	- Baixo
- 10 a 50	- Moderado
- 50 a 200	- Alto
- > 200	- Muito Alto

Tabela 5 - Tabela de Classificação de Perda de Solos. Fonte: Organização para a Alimentação e Agricultura (FAO)

3.2.7. Análise de dados primários e secundários como subsídio à interpretação do resultado

Para uma melhor interpretação do mapa resultado da EUPS na área de estudo, foram analisadas imagens históricas do Google Earth Pro (Google Earth, 2023) com o objetivo de identificar áreas de vegetação desmatadas ao longo do tempo, visto que a retirada de cobertura vegetal afeta diretamente o potencial erosivo de uma região, além de contribuir para outras vulnerabilidades ambientais.

Também foi avaliada a curvatura de algumas encostas com o objetivo de identificação de caminhos preferenciais para o escoamento superficial da água, auxiliando na interpretação do quão ligada estas feições estão com o grau de suscetibilidade erosiva da área. Para isso, foi gerado um mapa de curvatura da vertente a partir do MDE no software ArcMap 10.8 e feita análise visual de pontos específicos.

3.2.8. Visitas de campo

Foram realizadas visitas de campo em pontos específicos da área de estudo para auxiliar na interpretação de dados. As visitas foram feitas ao longo de um ano por meio das disciplinas de Avaliação de Impacto Ambiental e Geografia Biológica, com os seus respectivos relatórios sendo utilizados como base para o diagnóstico e complementação das análises do mapa final.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Mapas Gerados para o cálculo da EUPS:

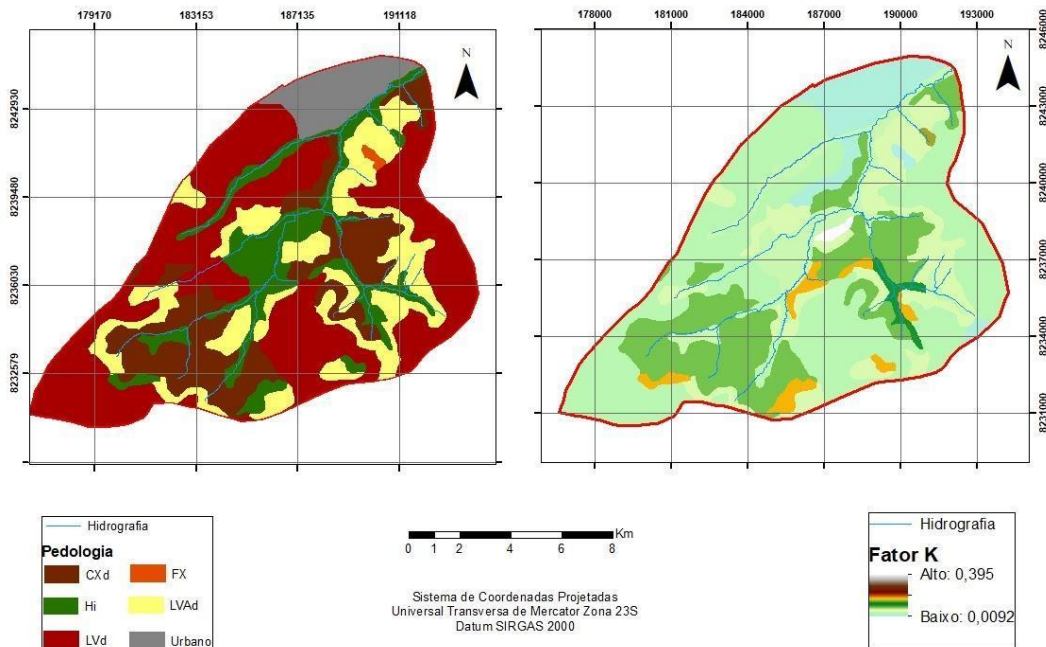


Figura 6 - Mapa de Erodibilidade do solo à direita e mapa pedológico da região à esquerda.

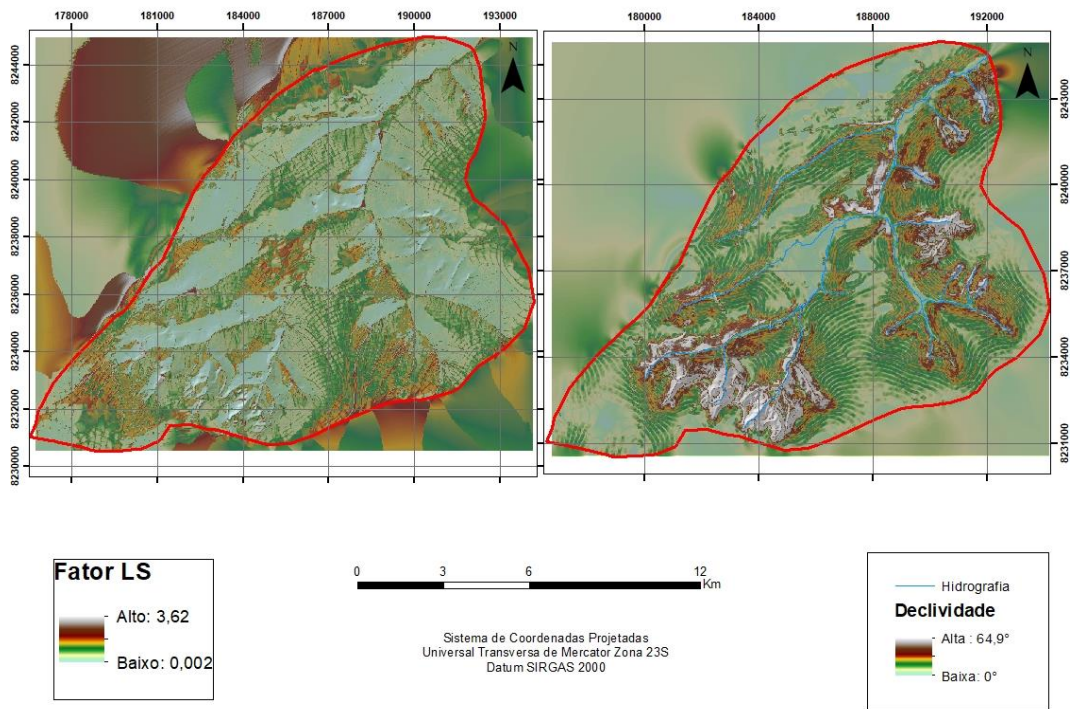


Figura 7- Mapa do fator LS à esquerda e mapa de declividade à direita

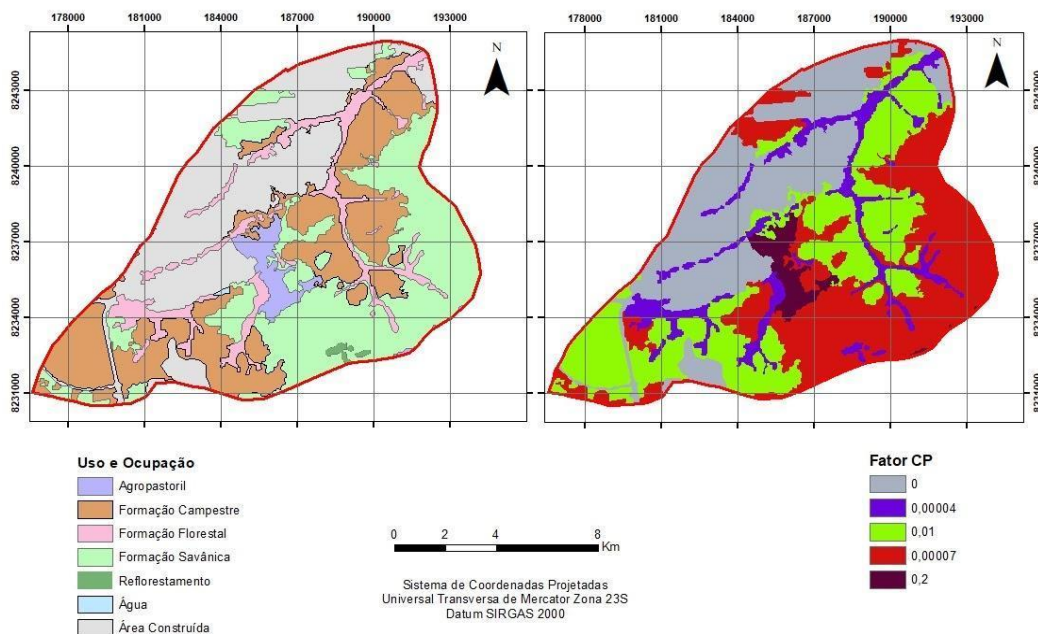


Figura 8 - Mapa do Fator CP à direita e mapa de uso e ocupação à esquerda.

O cálculo da EUPS (Figura 9) demonstra que a bacia como um todo apresenta uma predominância de áreas suscetíveis à erosão, porém com locais bem variados em relação às suas características como declividade, vegetação, solos e usos. Devido a essa variação de

características e para facilitar a análise e interpretação do resultado, as áreas suscetíveis foram separadas entre os grupos 1, 2, 3, 4, 5 e 6.

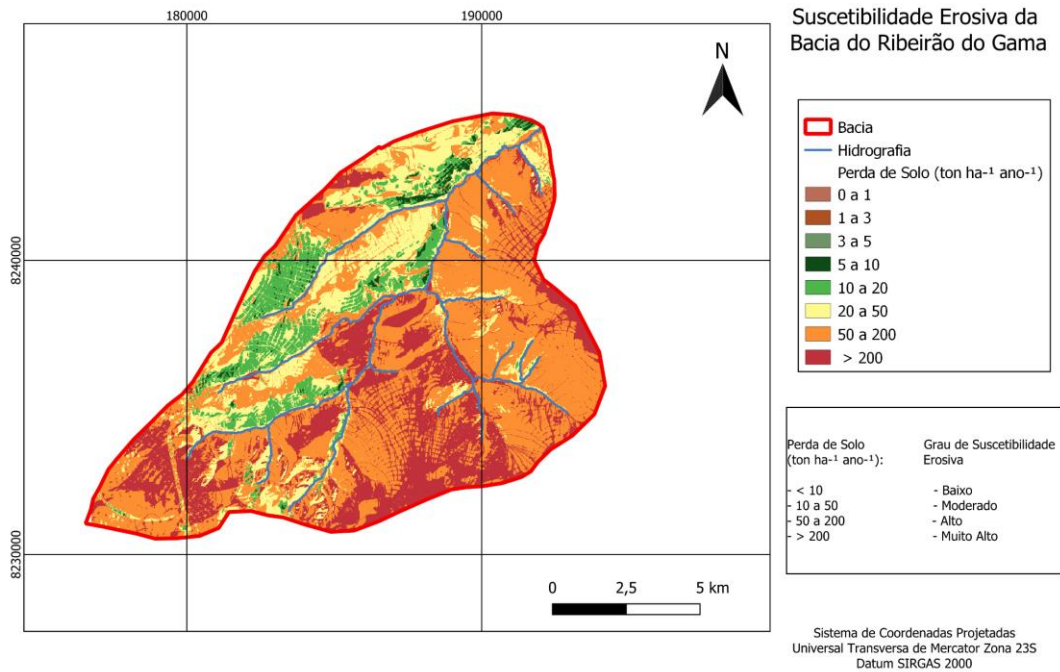


Figura 9 - Mapa de Suscetibilidade erosiva da Bacia do Ribeirão do Gama

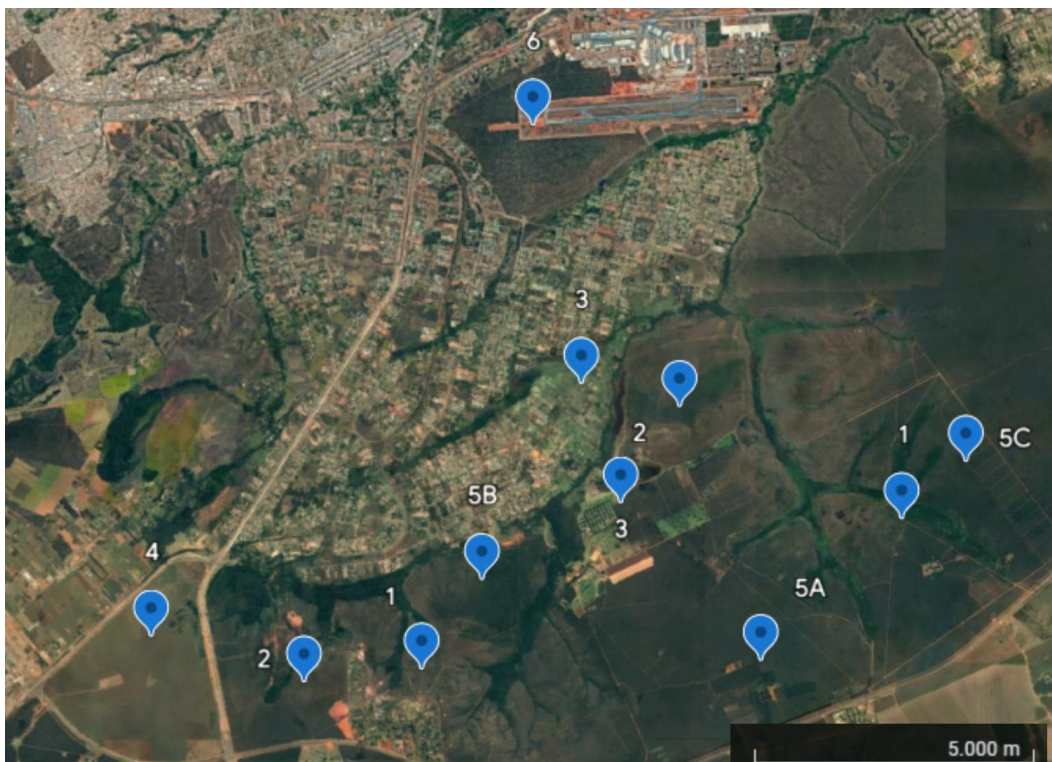


Figura 10 - Localização das áreas com maior suscetibilidade erosiva. Fonte: Google Earth

As áreas do grupo 1 são locais de alta declividade (Figura 11) que se encontram no rebordo das chapadas que cercam a bacia. Esses locais são marcados por uma declividade acima de 30% e por predominância de cambissolos e afloramentos rochosos. Devido a essas características, são áreas naturalmente propensas à perda de solo, visto que a gravidade faz com que a água da chuva escoe superficialmente de forma rápida encosta abaixo, transportando sedimentos do solo desses locais que, dado a sua pouca espessura, perde muito mais material do que solos mais espessos.



Figura 11 - Vertente com alta declividade. Fonte: Acervo pessoal

Nesses locais de alta declividade o potencial erosivo se torna bastante evidente nos diversos sulcos erosivos nas estradas de terra que cortam a área, causados pela concentração de fluxo superficial de água na via que age de forma muito mais intensa na retirada de sedimentos devido à exposição do solo e à grande energia proporcionada pelo declive, como ilustra a Figura 12.



Figura 12 - Sulco erosivo em uma estrada da região. Fonte: Acervo pessoal

As áreas do grupo 2 se caracterizam pela ocorrência de campo de murundus (Figuras 13 e 14), com um deles localizado próximo à nascente do Ribeirão do Gama e o outro dentro das dependências da Fazenda Água Limpa da Universidade de Brasília - UnB. Campos de murundus constituem em extensas áreas brejosas ou alagadiças vegetadas com gramíneas nativas, frequentemente em ilhas esparsas de cerrado, nucleados por cupins (Penteado-Orellana, 1980).

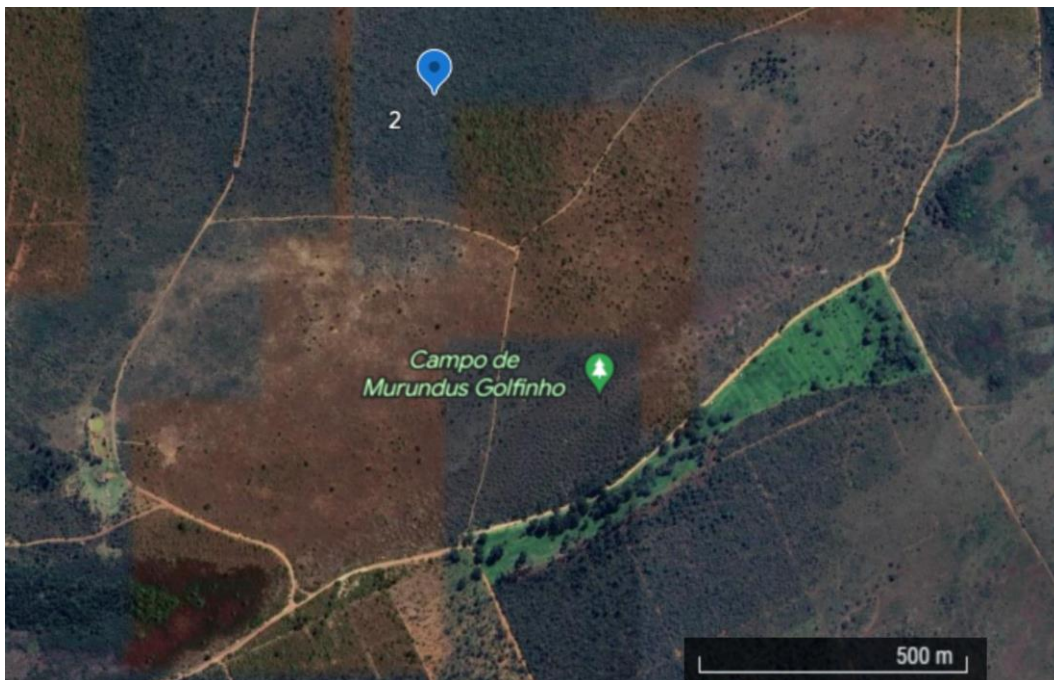


Figura 13 - Campo de Murundus Golfinho localizado na FAL. Fonte: Google Earth



Figura 14 - Campo de Murundus localizado próximo à nascente do Ribeirão do Gama. Fonte: Google Earth.

Algo que explica o potencial erosivo dessas áreas é a própria gênese morfológica desse microrrelevo, com uma das hipóteses de formação, como a de Araújo Neto (1981), sendo justamente a ação de erosão diferencial entre os montículos lateríticos, desfazendo as partes do terreno menos resistentes. A existência dessas ilhas lateríticas e a saturação do solo pela elevação do nível freático em épocas de chuvas acaba criando padrões de drenagem irregulares no local, podendo levar ao acúmulo de água em certas áreas e a concentração de fluxo superficial em outras, aumentando o risco de erosão.

As áreas do grupo 3 correspondem ao Núcleo Rural Vargem Bonita e à fazenda Água Limpa, com o elevado potencial erosivo sendo provocado provavelmente pelas atividades agrícolas e pela supressão da cobertura vegetal (Figura 15). Em regiões de desenvolvimento agrícola, é comum processos de perda de solos, principalmente em terrenos planos como em topo de chapadas, devido à utilização de algumas máquinas pesadas para o preparo do solo que destroem a estrutura do solo e compactam a cobertura do terreno.

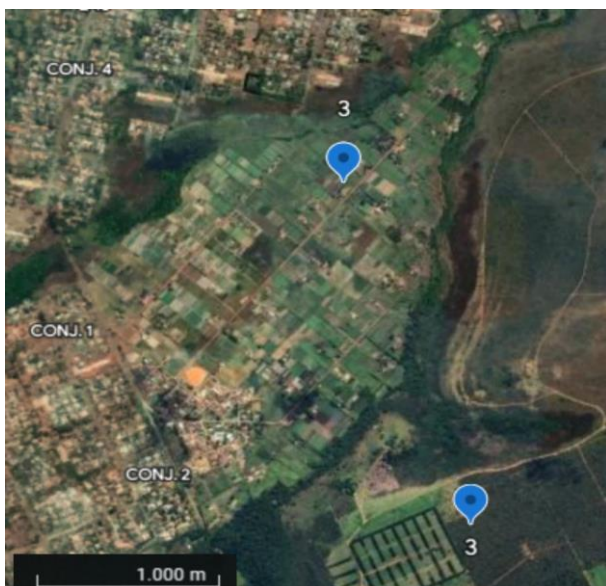


Figura 15 - Núcleo Rural Vargem Bonita. Fonte: Google Earth

Apesar das atividades agrícolas do núcleo rural serem de uma escala média, a proximidade dessa área com o Córrego Mato Seco e o Ribeirão do Gama acaba impactando negativamente os canais de drenagem em volta devido à perda de solo atuante na área, resultando em um transporte de sedimentos em direção a essas drenagens e provocando a longo prazo um processo de assoreamento. Juntamente com isso, o sedimento e a água que vão em direção aos córregos também podem levar resquícios de defensivos agrícolas que são usados nas plantações, sendo potencialmente nocivos para o ecossistema que habita e se abastece das águas desses canais.

A área do grupo 4 corresponde à Área de Proteção de Manancial Ribeirão do Gama e está localizada no extremo oeste da bacia. No local há ocorrência de vários hectares de campo sujo, porém com análises de imagens antigas, foi possível concluir que a vegetação original foi suprimida nas últimas décadas (Figura 16), fazendo com que espécies de capim se proliferassem e disputassem os recursos da região, impedindo assim a reconstituição total da vegetação nativa. Em alguns pontos é possível perceber uma volta tímida da vegetação original, entretanto a espécie invasora ainda é dominante. A área em questão também é de grande importância hidrológica pois é uma área de recarga dos aquíferos do Subsistema R3/Q3 do Sistema Aquífero Paranoá, sendo este o responsável por abastecer os córregos da região, incluindo o Ribeirão do Gama.

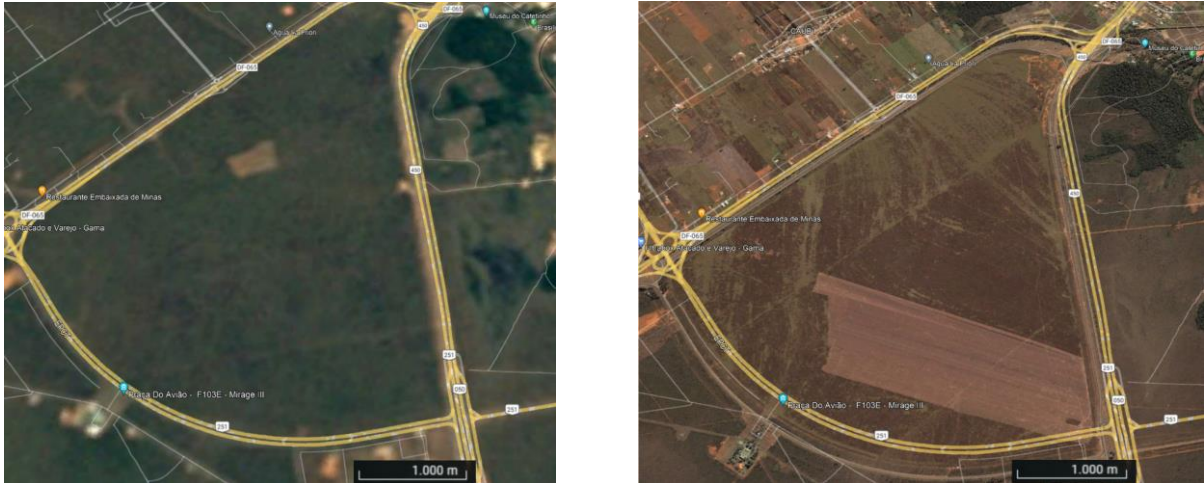


Figura 16 - Imagem de 1985 e imagem atual da área 4. Fonte: Google Earth

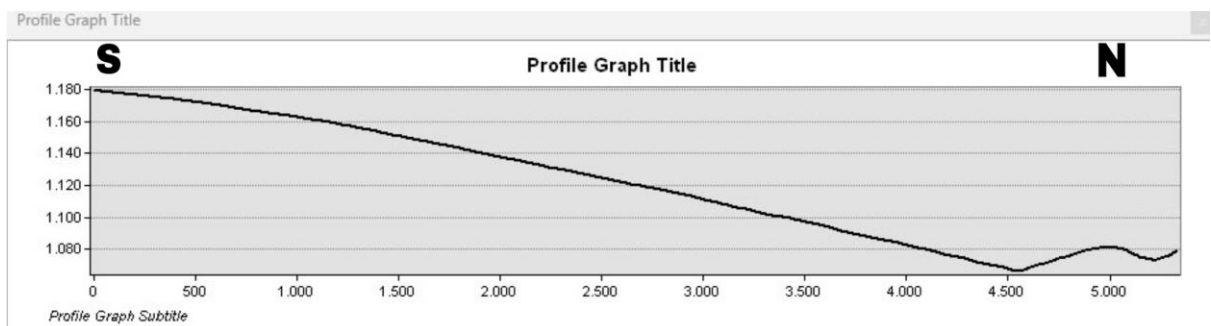
Devido à supressão da vegetação nativa, o solo da área ficou mais exposto e suscetível a processos de erosão. Mesmo com a área sendo aplainada, ela ainda apresenta uma leve declividade que induz um processo de escoamento laminar da água, possibilitando o transporte de sedimentos. Além disso, a exposição do solo e a falta de vegetação arbórea também favorece a ocorrência do efeito splash, causado pelas gotas das chuvas que exercem sua ação erosiva a partir do impacto na superfície, resultando em uma ruptura dos agregados do solo. Essa ruptura faz com que a superfície do solo seja selada, diminuindo a infiltração e aumentando o escoamento superficial da água.

Já as áreas do grupo 5 estão localizadas em encostas com baixa declividade, porém com um longo comprimento de rampa e com algumas partes apresentando concavidades e convexidades ao longo da vertente. A combinação desses fatores favorece a incidência de processos erosivos laminares e lineares, tendo em vista que o comprimento de rampa faz com que a água escoe com maior energia conforme desce na vertente, aumentando, portanto, sua capacidade de transporte, enquanto a convexidade também favorece o escoamento laminar da água, inicialmente sem formar canais preferenciais. A convexidade de alguns locais também contribui para a perda de solos, porém por meio da concentração de fluxo em sulcos, gerando processos de erosão linear.

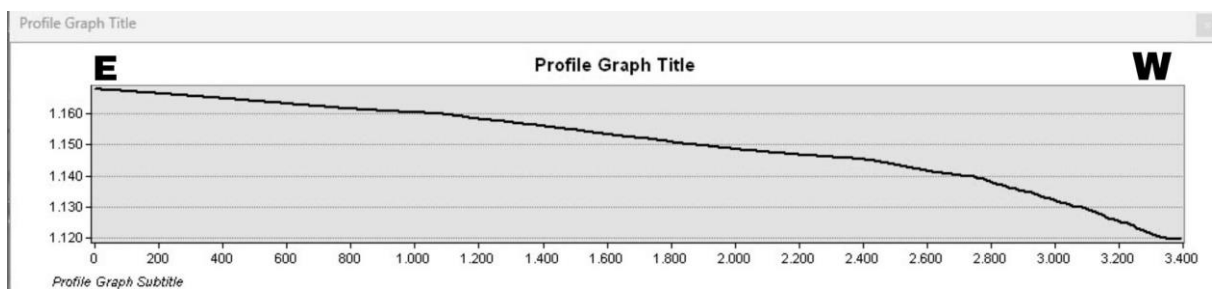
Por meio da interpretação de imagens de curvatura do relevo da região e com a geração de perfis topográficos das vertentes, foi possível perceber que no topo da rampa 5A há provavelmente uma predominância de escoamento superficial laminar da água, porém conforme o fluxo desce pela rampa, começa a haver uma concentração em caminhos

preferenciais devido à irregularidades do terreno. Quanto à rampa 5B ocorre um escoamento laminar pela encosta, principalmente por causa da forma convexa da encosta, porém o processo é agravado devido à supressão vegetal que a área sofreu ao longo dos anos, expondo mais o solo à erosão. Já a rampa 5C apresenta uma encosta mais côncava, favorecendo, portanto, um escoamento concentrado de fluxo e conseqüentemente um aumento da energia da água.

Algo que chama atenção no mapa de suscetibilidade erosiva (figura 9) é que as encostas ao sul apresentam sempre um potencial a erosão acima das encostas do lado norte. Algo que explica isso é a assimetria entre as vertentes da bacia, pois as encostas do lado sul tendem a possuir um comprimento de rampa mais extenso. Como a equação dá um peso grande para esse fator, conseqüentemente isso se reflete no mapa final de suscetibilidade.

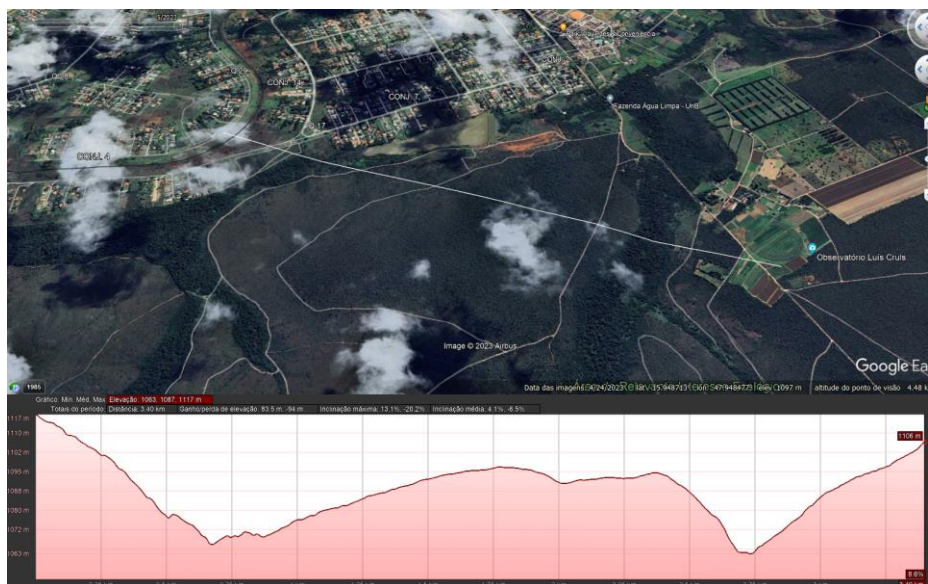


Vertente 5A



Vertente 5C

Figura 17 - Vertentes 5A e 5C. Fonte: ArcMap 10.8



Vertente 5B

Figura 18 - Vertente 5B. Fonte: Google Earth

Por fim, a área que corresponde ao grupo 6 está localizada no aterro da pista 11R-29L do Aeroporto Internacional de Brasília - Presidente Juscelino Kubitschek. Os aterros em aeroportos são utilizados para nivelar o terreno e criar uma plataforma estável para a implementação de pistas de pouso e outras estruturas operacionais, entretanto devido à falta de cobertura vegetal, que são retiradas para uma operação segura das aeronaves, muitas vezes o escoamento superficial acaba retirando material do solo, gerando sulcos erosivos nas margens. O próprio sistema de drenagem da pista de pouso também colabora para a erosão nessas áreas quando o descarte é concentrado em áreas sem dissipadores de energia, assim como a compactação do solo devido ao movimento intenso de veículos e aeronaves.

A Bacia do Ribeirão do Gama apresenta diversas áreas sensíveis a processos erosivos, não apenas pelas características naturais da região, mas também pelo manejo incorreto ao longo dos anos de ocupação da bacia. A difusão de práticas mitigadoras entre a população local e o poder público tem o poder de produzir excelentes resultados a longo prazo. Tais práticas consistem em métodos e técnicas específicas para gestão agrícola, com a finalidade de evitar prejuízos consideráveis ao meio ambiente e aos moradores da região, especialmente pela perda de solo cultivável nas áreas agrícolas e no comprometimento da qualidade das águas dos córregos da bacia.

No caso da área 4, onde há a Área de Proteção de Manancial do Ribeirão do Gama, a medida mais urgente seria um controle das espécies de capim com o objetivo de reduzir a propagação dessas espécies invasoras, permitindo a recuperação da vegetação nativa. A

implementação de práticas de controle do fogo juntamente com ações de reflorestamento também poderia contribuir para reverter a degradação da área e promover a recuperação do ecossistema.

Quanto à área 3, onde há uma forte produção agrícola, uma excelente prática de prevenção de erosões seria a implementação de técnicas de plantio direto. De acordo com Marinho (2003), essa prática visa promover a reestruturação do solo, em função da adição de matéria orgânica de efeito agregador e quebra das faixas adensadas pela sobrecarga exercida, promovendo a recuperação da fisiologia do solo pelo aumento da circulação hídrica e de nutrientes.

Por fim, nas áreas do grupo 1, a melhor alternativa é o terraceamento das encostas, que consiste na construção de degraus ao longo da encosta que visam reduzir a velocidade e consequentemente a energia da água, evitando uma alta perda de material do solo. Nas áreas do grupo 5, apesar da declividade não ser tão acentuada, a implantação dos terraços também seria útil para impedir processos erosivos, além de promover uma recuperação vegetal em áreas anteriormente degradadas. Para o controle da erosão nas estradas dessas áreas, tanto as localizadas em terrenos íngremes como as localizadas em terrenos suaves, uma excelente opção seria a implementação de drenos que conduzam a água para bacias de retenção nas margens das estradas. Essas bacias coletam a água que escorre pela estrada e armazenam-a, fazendo com que ela se infiltre naturalmente no solo nesses locais. Outro método de complementação é a construção de pequenas barreiras ao longo da via com o objetivo de diminuir a energia da água ou barrar o escoamento, direcionando, portanto, o fluxo para os canais de drenagem.

5. CONCLUSÃO

Portanto, as informações obtidas por meio deste estudo, utilizando a Equação Universal de Perda de Solos, juntamente com o uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e imagens de satélite, permitiram identificar as áreas mais suscetíveis à erosão na Bacia do Ribeirão do Gama. Isso significa que foi possível mapear e delimitar as regiões onde a perda de solo é mais provável de ocorrer. A análise revelou que a bacia apresenta diversas fragilidades ambientais, o que indica que a erosão do solo é um problema significativo na região. Além disso, as atividades humanas, como agricultura, supressão da vegetação, expansão urbana e manejo inadequado do solo, podem intensificar ainda mais os processos erosivos.

No entanto, o estudo também aponta para a possibilidade de adotar medidas de prevenção e mitigação para conservar as condições naturais do sistema. É de extrema

importância que essas medidas devam ser baseadas em um plano de ação bem elaborado, considerando as especificidades da bacia, os recursos disponíveis, as legislações ambientais e as necessidades da comunidade local. A colaboração entre especialistas em geografia, agronomia, engenharia ambiental e outros profissionais pode ser necessária para planejar e implementar efetivamente as medidas de prevenção e mitigação da erosão na Bacia do Ribeirão do Gama.

6. Referências Bibliográficas

- ALBUQUERQUE, A. W. de; Filho, G. M. Santos, J. R.; Costa, J. P. V. **Determinação de fatores da equação universal de perda de solo em Sumé, PB.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, 2005. v. 9, n. 2, p. 153–160.
- ARAÚJO Neto, M. D. **Solos, água e relevo dos campos de murundus na Fazenda Água Limpa, Distrito Federal.** Dissertação (Mestrado em Biologia) – Departamento de Biologia Vegetal, Universidade de Brasília, Brasília, 1981.
- BARRELLA, W. et al. As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes. In: Rodrigues, R.R.; Leitão Filho; H.F. (Ed.) **Matas ciliares: conservação e recuperação.** 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.
- BERTONI, J.; Neto, F. L. **Conservação do Solo.** 8. ed. São Paulo: Ícone, 2012. 355 p.
- Borges, A. L.; **Recomendações de calagem e adubação para abacaxi, acerola, banana, citros, mamão, mandioca, manga e maracujá. Brasília, DF.** Embrapa, 2021. Cap. 1. p15-25.
- BORGES, K. M. R.; Carvalho Júnior, O. A.; Martins, E. S.; Gomes, R. A. T.; Guimarães, R. F.; **"Vulnerabilidade Natural: A Perda De Solo Da Bacia Do Rio Carinhanha (MG/BA) Usando Uma Abordagem Qualitativa Da Equação Universal De Perda De Solos."** Universidade Federal Fluminense. Pós-Graduação em Geografia, 2013.
- CAESB; Sinopse do sistema de esgotamento sanitário do Distrito Federal. Brasília: **CAESB/DRSE/SPCE**, dez.1998b.
- CARAMINAN, L. M., & Morais, E. S. de. (2022). Explorando à álgebra de mapas com a EUPS e a sua utilidade para a gestão integrada: a bacia hidrográfica do córrego Pindaúva, PR, Brasil. **Revista Brasileira De Geomorfologia**, 23.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** São Paulo: Edgard Blücher, 1980.
- CORRECHEL, V.; **Avaliação de índices de erodibilidade através da técnica da análise da redistribuição do Fallout do Cs.** Tese de doutorado e ciências, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- CREPANI, E.; Medeiros, J. S. de; Filho, P. H.; Florenzano, T. G.; Duarte, V.; Barbosa, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial.** São José dos Campos: INPE, 2001. 124 p.
- DA SILVA, M. S. L.; **Estudos da Erosão, Petrolina - PE.** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, 1995.
- DIODATO, J., Ribeiro, V. Carta de Suscetibilidade Erosiva da Bacia Hidrográfica do Córrego Curral de Arame, Dourados/MS. **Revista EIA**, 2020. 17 (34), 1–12.

EMBRAPA: **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Serviço de Produção de Informação EMBRAPA, 2013.

FARIA A. De.; Estratigrafia e sistemas deposicionais do Grupo Paranoá nas áreas de Cristalina, Distrito Federal e São João da Aliança-Alto Paraíso de Goiás. Tese de doutorado, UnB - IG, 1995. 199 p.

FARINASSO, M.; Júnior, O. A. de C.; Guimarães, R. F.; Gomes, R. A. T.; Ramos, V. M.; Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUPS – equação universal de perdas de solos utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba – PI-MA. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Recife, 2006. v. 7, n. 2, p. 73–85.

FAUSTINO, J.; Planificación y gestión de manejo de cuencas. Turrialba: CATIE, 1996. 90p.

Felfili, J. M.; Santos, A. A. B. Legislação ambiental: APA Gama e Cabeça de Veado. Universidade de Brasília. Departamento de Engenharia Florestal. Brasília. 2002.

GUERRA, A. J. T.; Experimentos e monitoramentos em erosão dos solos. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo: FFLCH-USP, 2005. v. 16, p. 32-37.

HAILESLASSIE, A., Priess, J., Veldkamp, E. e Lesschen, J. P.; **Manejo da fertilidade do solo por pequenos produtores no Planalto Central da Etiópia: implicações para estoques de nutrientes, balanços e sustentabilidade de agroecossistemas.** *Ciclagem de Nutrientes em Agroecossistemas*, 2006. 75:135-146.

HASUI Y. & Almeida F.F.M. De.; Geocronologia do CentroOeste Brasileiro, **Rev. Bras. Geociências**, 1970. 19 (1): 6-26.

HORN, B. K. P.; **Hill shading and the reflectance map**, **Proceedings of IEEE**, 1981. 69(1):14–47.

İRDEM, A.; Topaloglu, F.; Uygur, V. Estimating spatial distribution of soil loss over Seyhan River Basin in Turkey. **Journal of Hydrology**, v. 336, p. 30–37, 2007.

LOMBARDI Neto, F.; Moldenhauer, W. C.; **Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP.** Bragantia, 1980.

MACÊDO, I. L. **Estudo de Modelos em Ambiente de Geoprocessamento para a Previsão de Erosão e Assoreamento de Reservatórios: O Caso da Bacia do Rio Indaiá - UHE Três Marias, MG.** Tese de Doutorado em Geotecnia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Brasília, DF, 2009. 312p.

MANAHAN, S. E.; Environmental chemistry. 7ed. **Lewis Publishers**, Boca Raton, Florida, 1999.

MARINHO. G.V; **Caracterização Físico-Hídrica e da Suscetibilidade Erosiva Linear dos Solos da Sub-Bacia do Córrego Queixada, Rio Araguaia -GO**. Dissertação de Mestrado em Geografia. Programa de Pesquisa e Pós Graduação do Instituto de Estudos Sócio-Ambientais da Universidade Federal do Goiás. Goiânia, 2003.

MARINI. O.J., Fuck R.A., Danni J.C., Dardenne M.A.; **A evolução geotectônica da Faixa Brasília e do seu embasamento. In: Simpósio Sobre o Cráton do São Francisco e suas Faixas Marginais**. Salvador, SBG, Anais, 1991. p.100-115.

MESHESHA T, Tsunekawa A, Tsubo M. **Continuing land degradation: cause – efect in Ethiopia’s central Rift Valley**. Land Degrad Dev, 2012.

PACHECHENIK, P. E. **Caracterização Hidrológica da Fragilidade Ambiental na Bacia do Rio das Pedras, Guarapuava - PR**. Dissertação de Mestrado em Agronomia. Curso de Pós Graduação em Ciências do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2004.

PENTEADO-Orellana, M.M. **Microrrelevos associados a térmitas no cerrado**. Notícias Geomorfológicas, 1980. p. 61-71.

PINTO, S.A.F. & Garcia, G.J. Experiências de aplicação de geotecnologias e modelos na análise e modelos de Bacias Hidrográficas. **Revista do Departamento de Geografia**, 2005. p. 30-37.

POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Disponível em: [L9433 \(planalto.gov.br\)](http://www.planalto.gov.br/l9433)

QUINN, P., Beven, K. J., Chevalier, P., and Planchon, O.; The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models. **Hydrological Processes**, 1991. 5(1), 59-79.

ROCHA, J. S. M. **Assoreamento do Reservatório do Vacaraí-Mirim e sua relação com a Deterioração da bacia hidrográfica contribuinte**. Dep. de Engenharia Rural – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria. 1997

SANTANA, D.P. Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**, 2003. 63p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 30).

SANTOS, H. G.; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C. dos; Oliveira, V. A.; Lumbreras, J. F.; Coelho, M. R.; Almeida, J. A. de; Araujo Filho, J. C. de; Oliveira, J. B.; Cunha, T. J. F. Sistema brasileiro de classificação de solos. 5.ed., **rev. e ampl. Brasília**, DF: Embrapa, 2018. 356 p

SCHIAVETTI, A., Camargo, A. F. M. **Conceitos de Bacias Hidrográficas: Teorias e Aplicações. Ilhéus, Bahia**: EDITUS - Editora da UESC, 2002.

- SILVEIRA, T. A.; Filho, M. B. B.; **O geoprocessamento aplicado à gestão dos transportes públicos. Anais 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande, Brasil, 11-15 novembro 2006**, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.718-725.
- Sousa, F. R. C. de; Paula, D. P. de., Análise de Perda do Solo por Erosão na Bacia Hidrográfica do Rio Coreaú (Ceará - Brasil). *Revista Brasileira De Geomorfologia*, 2019.
- STEIN, D. P., Donzelli, P.L., Gimenez, A.F., Ponçano, W. L., Lombardi Neto, F.; **Potencial de erosão laminar, natural e antrópica, na Bacia do Peixe Paranapanema. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 4.**, Marília (SP). Anais. Marília: ABGE, 1987. p. 105 – 135.
- Tricart, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977.
- UNESCO; Subsídios ao zoneamento da APA Gama-Cabeça de Veado e Reserva da Biosfera do Cerrado: caracterização e conflitos socioambientais; **UNESCO**, 2003. 176p.
- WALLING, D. E. The sediment delivery problem. Scale Problems in Hydrology Rodriguez-Iturbe, I.; Gupta, V. K. (Guest-Editors). **Journal of Hydrology**, 1983, v. 65, p. 209-37.
- WISCHMEIER, W. H.; Smith, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington, United States Department of Agriculture, 1978.
- ZINGG, R.W. (1940) Degree and length of land slope as it affects soil loss runoff. **Journal of Agricultural Engineering**, 21: 59 – 64