

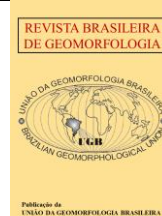


<https://rbgeomorfologia.org.br/>  
ISSN 2236-5664

# Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 24, nº ESPECIAL (2023)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v24i00.2373>



*Artigo de Pesquisa*

## Mapeamento e identificação de áreas críticas à erosão hídrica linear: o exemplo do bioma Cerrado no estado de Goiás, Brasil

*Mapping and identification of areas critical to linear water erosion: the case of the Cerrado Biome in the State of Goiás, Brazil*

Hellbia Samara Moreira de Carvalho<sup>1</sup> e Selma Simões de Castro<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Goiás, Instituto de Estudos Socioambientais, Goiânia, Brasil. [hellbia.rodrigues@gmail.com](mailto:hellbia.rodrigues@gmail.com)  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7038-9268>

<sup>2</sup> Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Campinas, Brasil. [scaastro@unicamp.br](mailto:scaastro@unicamp.br)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5401-5852>

Recebido: 13/03/2023; Aceito: 11/12/2023; Publicado: 15/12/2023

**Resumo:** O Cerrado brasileiro apresenta feições erosivas hídricas lineares de médio a grande porte, com distribuição espacial heterogênea. Na porção Centro Sul do Cerrado, os estudos sobre erosão linear são escassos, predominam na escala local e de pequenas bacias hidrográficas, mas indicam que o desmatamento aumentou o problema. Este artigo apresenta uma proposta de mapeamento dos focos erosivos hídricos lineares de médio a grande porte e de identificação das áreas críticas, aplicada ao estado de Goiás e Distrito Federal. Para isso, foram utilizadas técnicas de sensoriamento remoto sobre imagens de satélite de alta resolução espacial para mapeamento dos focos erosivos, seguida de identificação das áreas com concentração de focos por isodensidade, correspondentes às áreas críticas. Os resultados mostraram que a região do Sudoeste Goiano é a maior área crítica do Estado. Essa região é extremamente suscetível à erosão, com relevos aplainados, sustentados por arenitos e solos arenosos, utilizados por pastagem extensiva. O material produzido pode subsidiar políticas públicas para controle o controle da erosão no Cerrado.

**Palavras-chave:** ravinas e voçorocas, mapeamento e isodensidade de focos, áreas críticas, suscetibilidade erosiva

**Abstract:** The Brazilian Cerrado exhibits linear water erosive features of medium to large scale, characterized by a heterogeneous spatial distribution. In the Central-Southern region of the Cerrado, studies on linear erosion are limited, primarily at the local and small watershed scales, yet they indicate an escalation of the issue linked to deforestation. This article proposes a methodology for mapping medium to large-scale linear water erosive focuses and identifying critical areas, specifically applied to the states of Goiás and the Federal District. To achieve this, remote sensing techniques were employed on high-resolution satellite images to map erosive focuses, followed by identification of critical areas by concentration of focuses through isodensity analysis, corresponding to critical areas. The results highlight the Southwest region of Goiás as the largest critical area in the state. This region is highly susceptible to erosion, characterized by flattened reliefs supported by sandstones and sandy soils, predominantly used for extensive pasture. The generated material can inform public policies aimed at erosion control in the Cerrado.

**Keywords:** gullies, mapping and isodensity of erosion focuses, critical areas, erosive susceptibility

## 1. Introdução

Cerca de um terço das áreas agrícolas do planeta estão degradadas e a erosão hídrica é um dos principais fatores dessa degradação (LAL 2012; FAO 2015). Borrelli et al. (2017) constataram aumento global da erosão no planeta de 2001 a 2012, cuja principal causa é expansão das áreas agrícolas e as mudanças no uso da terra nesse século XXI e destacaram a América do Sul como um dos principais continentes onde o fenômeno é crítico. Borrelli et al. (2017) associam esse fenômeno às economias menos desenvolvidas, onde as estimativas das taxas de erosão são as mais altas do mundo.

No Brasil, de grande extensão territorial e elevada produção de *commodities* agropecuárias, a erosão hídrica também é uma importante causa de degradação ambiental, dados os desdobramentos do fenômeno, como perda de terras agrícolas ou pecuárias, assoreamentos diversos, comprometimento da flora e fauna, contaminação, perda de equipamentos de logística e de infraestrutura, além de vários acidentes. O fenômeno, em grande parte, é favorecido pelo clima tropical com elevadas pluviosidades e altas taxas de intemperismo químico, que induzem a dissecação erosiva do relevo (CAMAPUM DE CARVALHO et al., 2006; PRUSKI, 2010; MORGAN, 2005). Mas não se conhece, com precisão, os lugares e o total da área afetada por erosão hídrica linear, na forma de ravinas e voçorocas de médio a grande porte, tampouco sua distribuição espacial, as causas e os graus dos impactos no meio físico e socioambiental, além dos elevados custos *in site* (numa propriedade) e *off site* (no entorno, bacia ou região) para controle, principalmente, corretivo, pois que envolve obras diversas e, não raro, custos elevados.

Constata-se, com frequência, que nas áreas rurais do país, as práticas de uso e manejo dos solos estão longe de serem compatíveis com sua capacidade de uso ou aptidão agrícola, gerando conflitos de uso, ou os manejos são inadequados, principalmente nas áreas mais suscetíveis ao fenômeno, usualmente cobertas com pastagens extensivas. E ainda que a erosão hídrica é frequente em setores desfavoráveis às práticas agrícolas intensivas ou pastagens extensivas sem práticas conservacionistas, muitas vezes praticadas (SILVA; ALVARES; WATANABE, 2011).

Assim, pesquisas sobre erosão hídrica no Brasil são imprescindíveis para subsidiar planos de manejo e políticas públicas de controle, inclusive emergenciais, em diferentes escalas, idealmente articuladas entre si. Contudo, apesar do tema da erosão hídrica ser recorrente em pesquisas de interesse ambiental, com abordagens, escalas e objetivos diversos, elas têm sido frequentemente realizadas em escala mais local, correspondendo a estudos de caso e, sobretudo, focados em erosão hídrica laminar (BARRETTO; BARROS; SPAROVECK, 2008), ou ainda desconsiderando as variáveis espaciais e temporais que interferem na dinâmica regional do fenômeno (BACELLAR, 2000). Frequentemente, utilizam a Equação Universal de Perda de Solos, EUPS (USLE em inglês), ou suas versões posteriores (RUSLE, revisada, e MUSLE, modificada), sendo mais raros os trabalhos que propõem metodologias para um estudo sistêmico, multiescalar e multiproxi da erosão linear.

Nesse sentido, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo (IPT-SP), foi uma das instituições brasileiras que, em meados da década de 1980, trabalhou com inventários de feições erosivas lineares e análise de seus condicionantes, em diversas escalas, aplicados ao estado de São Paulo, visando subsidiar políticas públicas de controle do fenômeno (IPT, 1986), sobretudo junto ao Departamento de Água e Energia Elétrica (DAEE). Um dos produtos posteriores foi o Mapa de Erosão do estado de São Paulo (KERTZMAN et al., 1995) concebido e elaborado com base numa abordagem sistêmica e estabelecendo as áreas com maior potencial ao fenômeno. Salomão (2015), adotando abordagem similar, participante daquelas equipes, aperfeiçoou esse protocolo para avaliação espacial e dinâmica do fenômeno, utilizando técnicas de geocartografia, inter cruzando diversos mapas temáticos do meio físico, como os geológicos, geomorfológicos e pedológicos, seguidos de validação e monitoramento hidropedológico em campo. Tal protocolo serviu de inspiração para a pesquisa de Rodrigues (2020), aplicada ao estado de Goiás, da qual deriva este artigo.

Quanto à abordagem sistêmica do fenômeno, na maioria dos trabalhos nacionais e internacionais sobre o tema adota-se o princípio de que o entendimento dos componentes da paisagem, onde o fenômeno já ocorre ou pode ocorrer, é imprescindível (CHRISTIAN, 1958). Estes são comumente denominados de condicionantes (fatores) do processo, por vezes denominados de variáveis, servem, integradamente, para identificar suas causas mais prováveis. No Brasil, Bertoni e Lombardi Neto (2010) são bastante conhecidos no tema e internacionalmente vários autores enumeram e explicam cada condicionante, dentre eles, Kirkby et al. (2000), por exemplo, que propuseram um modelo bastante completo e muito utilizado dos condicionantes, tratando-os como variáveis, a saber: social, econômico, político, de uso do solo, clima, vegetação e suas propriedades, litologias, solos, topografia e água.

Quanto à escala da abordagem do fenômeno, também é fato reconhecido que não há escala cartográfica mais ou menos válida para o seu estudo, pois que depende da extensão geográfica do fenômeno e do objetivo do estudo, e que a mudança de escala não é uma questão apenas de recorte métrico, mas de transformação qualitativa do fenômeno analisado, visando sua explicação. Contudo, convém ressaltar que a escala é fundamental para seu entendimento (MORGAN, 2005), inclusive a escala tempo-espacial, de inspiração geomorfológica (CAILLEUX; TRICART, 1956) e as escalas com base em fenômenos geográficos (BERTRAND, 2004).

Nota-se que vem aumentando os estudos multiescalares. Nesse sentido, Veldkamp et al. (2001) advertem que a análise dos condicionantes deve ser feita em escalas sucessivas de aproximação, ou seja, multiescalar no espaço e no tempo, para poder melhor entender os processos e assim, poder subsidiar o planejamento de uso e ocupação das terras. De modo similar, Baccaro (1999) também defende a mesma ideia de que tal análise deve se basear em níveis sucessivos de aproximação escalar, e propõe que se inicie pela cartografia geomorfológica na escala regional, na qual se destacam as formas de agradação e denudação, imprescindíveis para a compreensão da morfodinâmica das unidades geomorfológicas que compõem uma área, como subsídio para identificar áreas de ocorrência do fenômeno; e prosseguir-se com a indicação da (s) subárea (s) ou setor (es) que apontam a possibilidade de verticalizar os estudos nas áreas ou setores de maior impacto na escala local. São estas que podem ser alvo de levantamentos específicos de focos erosivos, do substrato geológico, do relevo/topografia, de uso e cobertura vegetal, de monitoramentos e outros tipos de estudos, como os climáticos, morfográficos e hidropedológicos, no sentido de identificar os eixos de escoamento hídrico preferencial e solos associados, de interesse pedogenético e funcional.

Castro e Salomão (2000), por seu turno, adaptando proposta de Tricart e Kilian (1979), recomendam iniciar a pesquisa em escalas cartográficas médias (regionais/sub-regionais) e, prosseguir para as grandes (locais). Nas médias escalas procedendo-se a uma avaliação morfopedológica, que corresponde à integração de substrato, relevo e solos configurando compartimentos próprios denominados morfopedológicos (CMP), facilmente reconhecíveis em imagens de satélite, fotos aéreas e similares, devido seu padrão fisiográfico que os diferencia dos vizinhos, sendo mapeáveis. Normalmente, utiliza-se de compilação de mapas existentes desses temas, sempre na mesma escala (ou muito próxima, passível de ajuste sem distorção), obtidos em repositórios de dados confiáveis, tais como os geológicos, preferencialmente litológicos, os geomorfológicos (sobretudo topográficos, de declive, de altitudes, de superfícies geomórficas, de curvaturas, de comprimentos de rampas, de rotas de fluxos e de focos erosivos) e pedológicos (convencionais). Se ausentes, ou quando não houver mapas em mesma escala ou em escalas muito abrangentes devem ser especialmente elaborados para esse fim.

Os CMP permitem identificar a fisionomia da respectiva paisagem pelo seu padrão geomórfico, produzida pela integração daqueles condicionantes. E, ao associar os mapas de CMP com o mapa dos focos erosivos, pode-se reconhecer os CMP mais afetados devido a maior densidade dessas feições, de modo a elucidar suas possíveis relações espaciais com os atributos dos condicionantes. Após sua validação em campo pode-se correlacioná-lo com mapa de uso do solo ou outros, conforme o objetivo do trabalho, visando elucidar possíveis relações espaciais. Nunes e Castro (2023, neste mesmo número), por exemplo, trabalhando com sensoriamento remoto (SR) e sistemas de informações geográficas (SIG), em escala de detalhe, utilizaram indicadores topográficos primários/ITP (MINELLA; MEURTEM, 2012), com certa ênfase em curvaturas, para identificar e espacializar os fluxos hídricos potenciais e respectivas vazões, visando a obtenção dos eixos preferenciais e respectivos parâmetros de escoamento, os quais são correlacionados ao mapa de focos erosivos e estabelecidas as relações.

A análise multiescalar integrada, por exemplo, de articulação entre a escala regional e a local, pode ainda contribuir para melhor avaliar a variação espacial do fenômeno e, por consequência, dos atributos que se destacam em cada uma das escalas. Nota-se que grande parte dos autores mais recentes compartilham a ideia de que a análise multiescalar e integrada dos produtos temáticos diversos do meio físico e biótico, via modelos de base física, permitem uma melhor compreensão do fenômeno (NEWMAN; LINDSAY; COCKBURN, 2018; NUNES; CASTRO, 2023). Rodrigues (2020), adotou a abordagem multiescalar e multiproxi para mapear a distribuição espacial dos focos erosivos lineares e identificar as áreas mais críticas quanto à concentração de feições erosivas de médio e grande porte ( $\geq 300\text{m}$  de eixo maior) no estado de Goiás. Utilizou Sensoriamento Remoto (SR), sobretudo de alta resolução espacial, e Sistema de Informação Geográfica (SIG) para o mapeamento da suscetibilidade erosiva linear e a hierarquização das áreas críticas, i.e., com maior concentração de focos erosivos. As ravinas e voçorocas de médio a grande porte ( $\geq 300\text{m}$  de extensão de eixo maior), não puderam ser diferenciadas devido a escala de

adotada no trabalho, 1:15.000. O uso de SIG e análise geoespacial, permitiu delimitar as áreas que concentravam maior densidade de focos (focos-km<sup>2</sup>), estudo esse do qual deriva este artigo.

O uso crescente do SR e SIG nos últimos 30+ anos, levaram Vrieling (2006) e Fitz (2008) a advertir que se tornaram uma importante ferramenta nesse tipo de estudo, o que diminui o tempo dos inventários exaustivos em campo e pode favorecer uma espacialização preliminar do processo e de sua relação espacial com os possíveis condicionantes. Por outro lado, Stroonsnijder (2005) chama a atenção para a existência de uma crise nas medidas de erosão, porque existem dados empíricos insuficientes de qualidade adequada, por diversas causas. Assim, deve-se atentar para o fato de que esses produtos cartográficos devem ser validados em campo, normalmente por amostragem ou representatividade.

Quanto ao bioma Cerrado, onde se situa o estado de Goiás, do qual é representativo, de modo geral este é amplamente utilizado para a pecuária e agricultura, especialmente na sua porção Centro-Sul. Nele, a agricultura dita moderna, no início foi subsidiada por incentivos nos anos 70 do século passado, sobretudo federais, vinculados às metas do II Plano Nacional de Desenvolvimento (II PND), 1975-1979, por meio do Programa de Desenvolvimento dos Cerrados (POLOCENTRO) e do Programa de Cooperação Nipo-Brasileiro, para o Desenvolvimento dos Cerrados (PRODECER I), ambos também de 1975-1979 que promoviam o dito desenvolvimento do Cerrado e sua incorporação ao sistema produtivo nacional (ESTEVAM, 2004; FERREIRA et al., 2009; SILVA et al., 2013). Silva et al. (2013) lembram que essas políticas foram bastante favorecidas pelo baixo preço de terras e pela implantação de infraestrutura viária e energética. Lembra também que privilegiaram suas amplas superfícies planálticas, ditas Chapadas e Chapadões, de elevada aptidão agrícola, devido relevo plano a suave ondulado, que favorecem a mecanização da produção nas suas várias etapas, com solos profundos (Latossolos), apesar de ácidos e pobres, mas corrigíveis, e disponibilidade hídrica, tanto superficial quanto subterrânea (aquéferos). Assim, desde meados do século XX, o agronegócio cresceu quase que exponencialmente, destacando-se no começo o Sul e Sudeste do Brasil, e no Centro Sul do Cerrado, começando no estado de São Paulo e avançando posteriormente para o Centro-Oeste, nos estados de Goiás e Mato Grosso (ESTEVAM, 2004).

Resumidamente, o processo de ocupação do Cerrado iniciou-se pelo desmatamento das fitofisionomias mais densas, associadas aos melhores terrenos e com solos mais aptos para agricultura, e prosseguiu para os terrenos menos aptos com as pastagens, ambos para a produção de *commodities* agrícolas (SANO et al., 2008), principalmente de grãos nas primeiras e carne nas segundas, criando o chamado binômio carne x grãos. Some-se arroz, algodão e cana de açúcar, esta retomada e ampliada mais recentemente para produção de etanol, inclusive avançando sobre áreas de grãos e de pastagens (CASTRO et al., 2007; MIZIARA, 2006; MIZIARA; FERREIRA, 2008; CASTRO et al., 2010; SILVA et al., 2013; TRINDADE; CASTRO, 2015).

Todavia, essa ocupação apesar das vantagens econômicas, não previu impactos ambientais negativos do uso inadequado das terras, especialmente dos solos e relevos mais frágeis, com pastos, de elevada suscetibilidade erosiva hídrica. Assim, diversos impactos ambientais já comprometeram ou podem ainda comprometer a função agrícola e conseqüentemente a econômica ao longo do tempo, como a erosão (SILVA et al., 2013), sobretudo dessas áreas frágeis. Nesse aspecto, o Cerrado sofreu e ainda sofre elevada pressão ambiental por parte da atividade agropecuária e o estado de Goiás é representativo desse processo. Os dados do MapBiomas (SOUZA et al., 2020) já apontavam que 25,4% do território goiano é utilizado por pastagem, sobretudo extensiva, justamente onde há maior potencial de degradação erosiva do solo, do que nos topos aplainados dos planaltos regionais, as Chapadas e Chapadões, onde predominam as culturas agrícolas.

Nas pastagens a degradação do solo tem sido mais constatada em trilheiros do gado bovino, em decorrência do pisoteio animal na busca dos cursos d'água a jusante, ao compactar o solo pelo peso do animal e passagens sucessivas e diárias, impossibilitando a infiltração de água e potencializando sua concentração na forma de eixos de escoamento superficial, o que pode dar início a sulcos que podem se aprofundar e evoluir para ravinas, de rumo descendente, sobretudo em período de chuva, e prosseguirem até interceptar o nível freático mais raso nos fundos de vale, quando evoluem para voçorocas que crescem remontantemente pela ação do *piping*, se alargam por movimentos de massa nos seus taludes, e a sedimentação na sua parte terminal e fundo e nos recursos hídricos próximos, muitas vezes matando fauna piscícola e vegetação ciliar ou de galeria e até mesmo diminuindo ou secando as nascentes a montante (IPT, 1986; ALMEIDA; RIDENTE JR, 2001; SALOMÃO, 2015).

Diante do exposto, o conhecimento do fenômeno erosivo hídrico linear no país e em particular no território de Goiás e Distrito Federal, se torna muito importante, tanto no que se refere a reconhecer as áreas onde as feições se concentram e seus condicionantes, incluindo as práticas de uso e ocupação, na medida em que, configurando

um território amplamente utilizado para produção agropecuária, já traz consigo a degradação por esse fenômeno como uma problemática constantemente levantada por pesquisadores (CASTRO; QUEIROZ NETO, 2018; SILVA et al., 2013). Some-se que tal conhecimento pode contribuir para a caracterização das áreas críticas identificadas e delimitadas, através de seus indicadores e respectivos parâmetros, de modo subsidiar ações de controle na forma de políticas públicas preventivas e corretivas das áreas afetadas ou com elevado potencial erosivo.

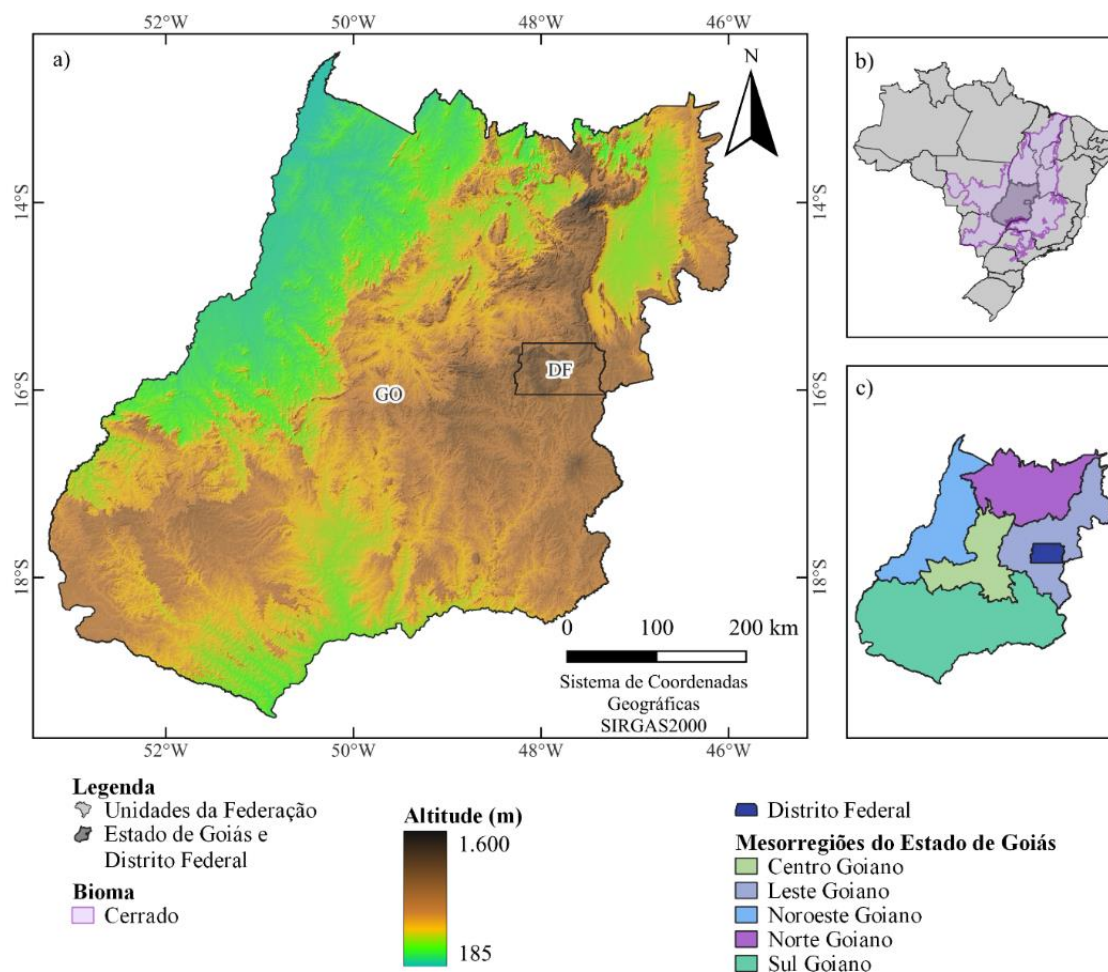
O objetivo deste artigo é apresentar uma proposta metodológica multiescalar para estudo da erosão hídrica linear com base no mapeamento de focos erosivos lineares de médio a grande porte já existentes, seguido pela identificação de áreas críticas e seus graus de criticidade, aplicada ao estado de Goiás e Distrito Federal, de modo a contribuir com o entendimento do fenômeno e apontar seus respectivos indicadores ou parâmetros, visando subsidiar políticas de controle.

## 2. Material e Métodos

### 2.1. Área de estudo

#### 2.1.1. Localização e breve histórico de ocupação

O estado de Goiás (GO) e Distrito Federal (DF) se situam na porção central do Brasil na região Centro-Oeste do País (Figura 1), entre as Latitudes 12°23'30" e 19°29'52" (Sul) e as longitudes 45°54'30" e 53°15'14" (Oeste), com 340.106,492 km<sup>2</sup> e o DF 5.780 km<sup>2</sup> (IBGE, 2017). Segundo o IBGE (2023), Goiás abriga uma população estimada de 6.950.976 pessoas, Goiânia, capital do Estado, de 1.414.483 habitantes e no Distrito Federal - Brasília, capital federal, de 3.015.268 habitantes.



**Figura 1.** Localização do estado de Goiás e Distrito Federal no Bioma Cerrado (A) e as cinco regiões administrativas do Estado e Distrito Federal (B).

Geoeconomicamente, Goiás subdivide-se em cinco mesorregiões: Noroeste Goiano; Norte Goiano; Centro Goiano; Leste Goiano e Sul Goiano, sendo está a de maior dimensão e que concentra a maior área agrícola do Estado, bem como grande quantidade de focos erosivos hídricos lineares (CASTRO, 2005). Historicamente, como exposto, a atividade agropastoril é a principal atividade econômica praticada no Estado, isso desde o século XIX, e que, em meados do XX, foi alvo do avanço da fronteira agrícola, dita moderna em acordo com os preceitos da Revolução Verde (GOMES; TEIXEIRA NETO; BARBOSA, 2004; SILVA; PIETRAFEZA; SANTOS, 2011).

O avanço da fronteira agrícola deu-se de Sul para o Centro Sul do Cerrado, alcançando a mesorregião Sul Goiano, sobre solos considerados, até então, de baixa fertilidade, mas que com os novos insumos (corretivos, adubação), possibilitariam o aumento da produção e da produtividade, sobretudo de grãos, como soja e milho (SILVA et al., 2013). Entretanto, os programas de modernização agropecuária (POLOCENTRO, PRODECER) não levaram em conta os impactos ambientais, principalmente em áreas mais frágeis que demandam cuidados quanto à supressão vegetal e a implantação das vias de circulação (FARIA; CASTRO, 2007), e onde declividades mais acentuadas, proximidade de canais de drenagem e de área de nascentes representavam potencial erosivo dos solos (CASTRO et al., 2004; BARBALHO; CASTRO, 2014; CASTRO; QUEIROZ NETO, 2018). Em geral essas áreas mais frágeis são as que apresentam solos rasos ou com contraste textural, declives mais acentuados em relevos movimentados, e ao menos em parte e não raro constituem Áreas de Preservação Permanente (APP), protegidas por lei (exemplo: nascentes, fundos de vale).

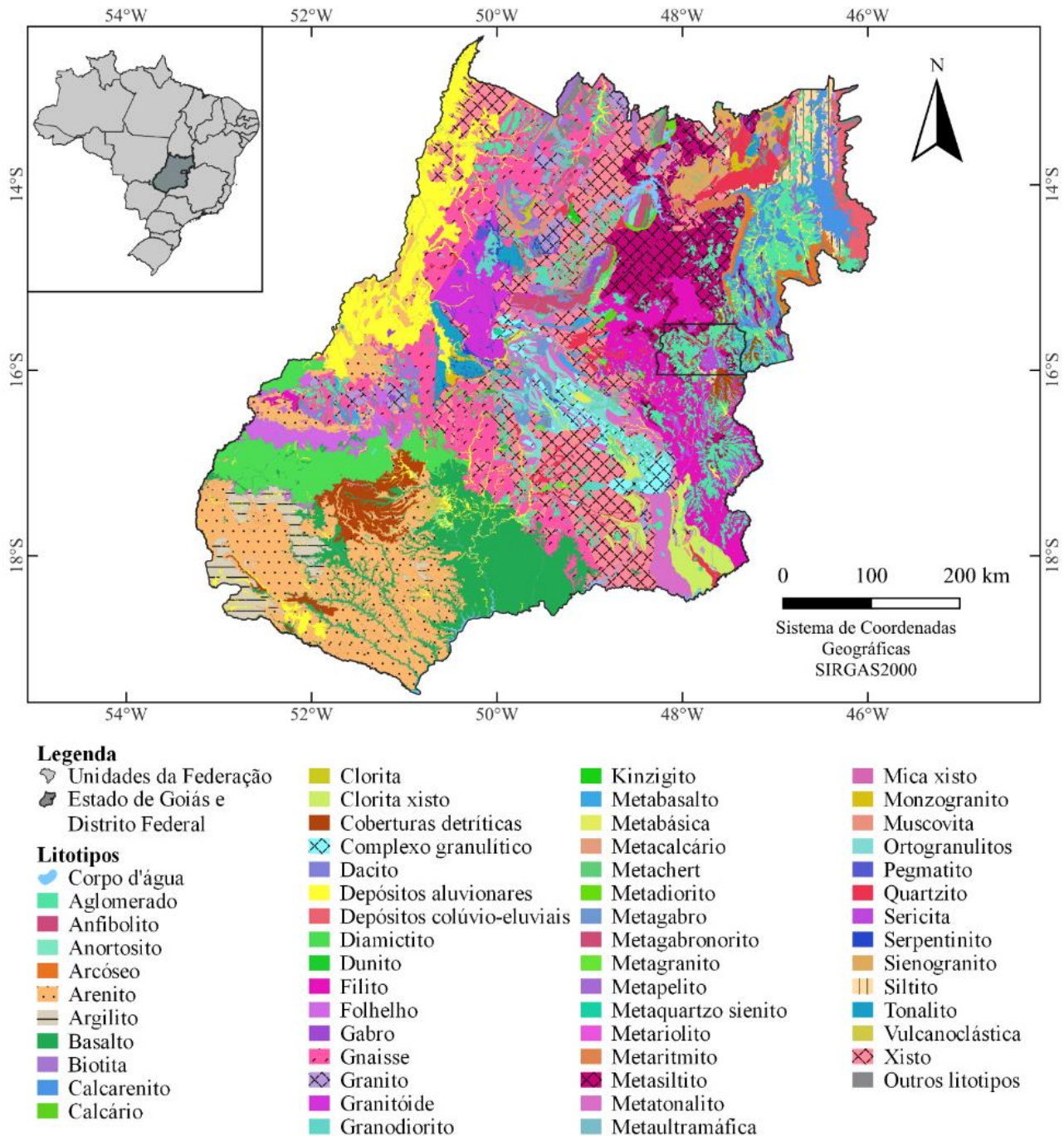
### 2.1.2. Geologia

Goiás assenta-se sobre duas províncias geológicas: (a) a Faixa Tocantins, do domínio Brasileiro, Neoproterozóico, cristalino, que corresponde à maior parte do território e inclui a área do Distrito Federal; e (b) a Bacia Sedimentar do Paraná, que se desenvolveu do Paleozóico ao Mesozóico e que se restringe fisicamente à porção Sudoeste do Estado (LACERDA FILHO; SILVA; OLIVEIRA, 2000). A Figura 2 apresenta a geologia de Goiás, em que se pode observar que os arenitos dominam na Bacia Sedimentar do Paraná, cujos solos derivados geralmente são mais suscetíveis a erosão, como os Neossolos Quartzarênicos e Latossolo Vermelho Amarelos textura média a arenosa, de elevada erodibilidade (SALOMÃO, 2015). Eles se localizam na porção Sul e Sudoeste do Estado, sendo pertencentes aos grupos Bauru (Cretáceo) e São Bento (Triássico). Os arenitos são principalmente quartzosos, podendo conter cimentos argilosos e/ou ferruginosos.

Os arenitos e as coberturas superficiais arenoquartzosas, em qualquer condição climática produzem solos de textura arenosa, com elevada macroporosidade, baixa coesão de partículas e baixa capacidade de retenção de umidade, além de baixa fertilidade, classificados como de elevada erodibilidade (SALOMÃO, 2015). Outro tipo litológico é o dos Xistos e Metasiltitos, situados na porção centro-norte em uma extensa faixa, assim como em parte do leste, associados aos Cambissolos, igualmente solos de erodibilidade elevada. Assim, o Estado apresenta extensas áreas naturalmente suscetíveis à erosão hídrica.

### 2.1.3. Geomorfologia

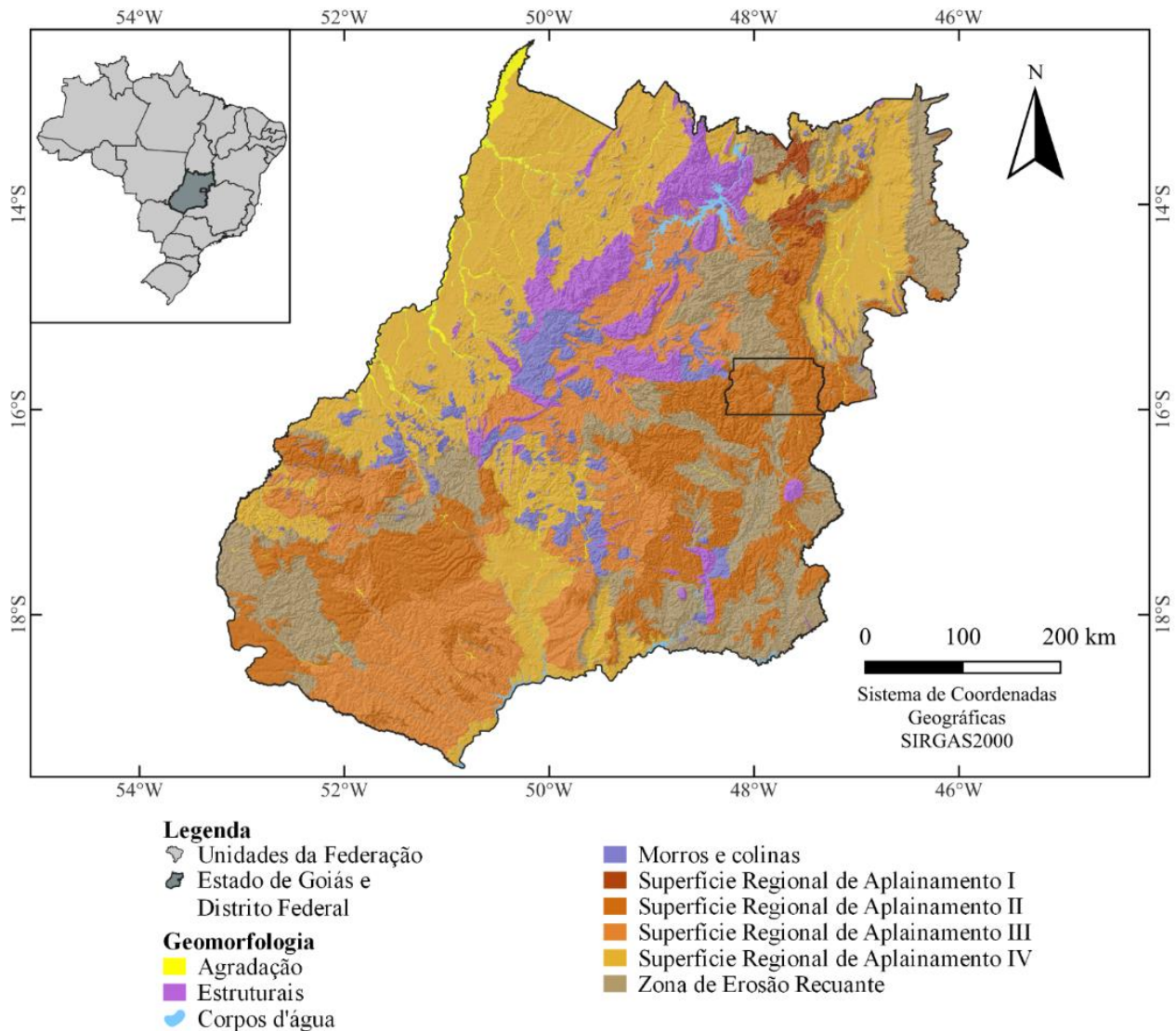
O estado de Goiás e Distrito Federal apresentam extensas Superfícies Regionais de Aplainamento (SRA), delimitadas por Zonas de Erosão Recuante (ZER), ou escarpadas, dentre outras (Figura 3). As SRA se caracterizam pelos baixos declives, solos profundos e estabilidade geomórfica e pedológica, o que lhe confere baixo ou mesmo nulo potencial erosivo, devido erodibilidade baixa ou nula.



**Figura 2.** Geologia do estado de Goiás, notar a extensa área de arenitos a Sudoeste. Fonte: Moreira et al. (2008).

As SRA dominam no Estado, ocupando aproximadamente 68% do território. São superfícies relativamente estáveis e parcialmente conservadas, geralmente tabulares, declives de 0 a 6% configurando-se como relevo plano a suave ondulado e limitadas por escarpas (ZER), que persistem desde o Neógeno, quando se formaram. Já as ZER, são sistemas instáveis que se modificam rapidamente com mudanças climáticas ou intervenções antrópicas sem práticas de conservação. Os Morros, por sua vez, são elevações médias do terreno, com topos arredondados de desnível altimétrico entre 20 e 60 metros. E, por fim, as Colinas são elevações baixas do terreno com desníveis que também vão de 20 a 60 metros de desnível, em geral com formas convexizadas. A erodibilidade é variável em ambas.

Aproximadamente 76% do Estado tem declives até 6%, associado às SRA, as quais são dominadas por Latossolos, de baixa erodibilidade, elevada aptidão à atividade agropecuária e manejo intensivo fortemente motomecanizado. As SRA estão subdivididas em quatro níveis altimétricos decrescentes, de I a IV (Figura 3).



**Figura 3.** Unidades Geomorfológicas do Estado de Goiás e Distrito Federal; notar as extensas Superfícies Regionais de Aplainamento II e III, além da Zona de Erosão Recuante no Sul e Sudoeste de Goiás. Fonte: Latrubesse e Carvalho (2006).

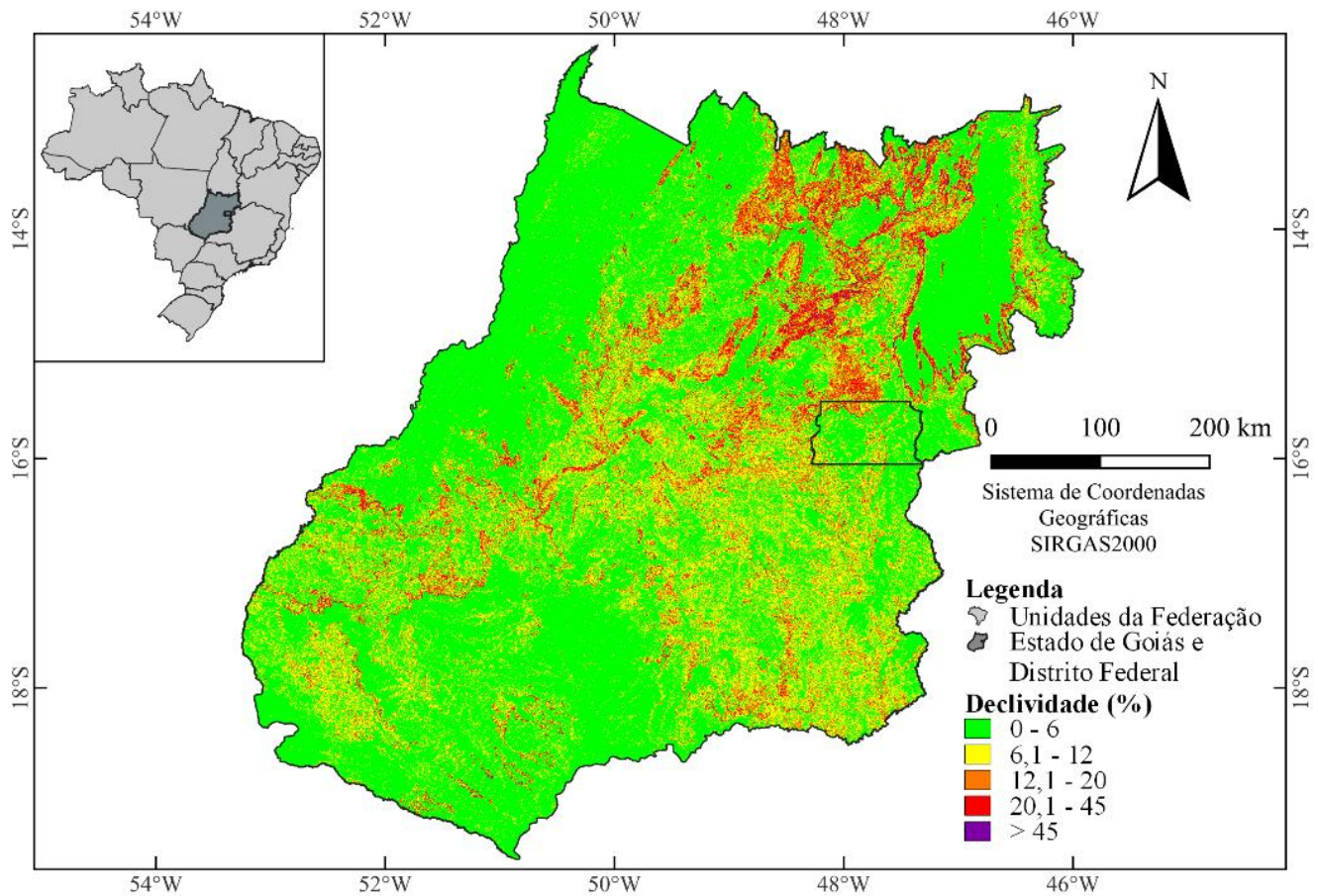
A SRA IV (Figura 3) é a de maior extensão no Estado, localizada sobretudo a Oeste, constituindo uma faixa contínua até o Norte, embora ocorra localizadamente também na porção Nordeste e Sudoeste. A SRA II tem maior área contínua no Leste/Sudeste e menor no Sudoeste, sendo mais fragmentada no restante do Estado. A SRA III apresenta maior área contínua ao Sul e também é fragmentada no restante do território. A SRA I, de certo modo é fragmentada como a SRA II, e sua maior área encontra-se ao Sul. Mesmo considerando que as SRA não sejam suscetíveis à erosão devido suas formas aplainadas e solos profundos e estáveis, elas podem apresentar feições erosivas, sobretudo próximas às suas bordas. Com exceção da SRA I, os vários estudos sobre erosão hídrica nas demais SRA foram motivados pela ocorrência notável do fenômeno, principalmente ao Sul e Sudoeste.

Já os relevos de agradação podem ser caracterizados como os de acumulação de sedimentos nas zonas de depressão relativa, formando ambientes como planícies, como as que ocorrem, sobretudo na bacia do médio rio Araguaia a oeste do Estado, com padrão meandriforme.

Convém lembrar que a declividade (Figura 4) é um fator importante no processo de erosão hídrica, pois condiciona a velocidade e energia do escoamento das águas pluviais, o volume e tipo de material em suspensão arrastado, sobretudo quando o comprimento da rampa for mais acentuado, porque aumenta a energia cinética (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010). As declividades do estado de Goiás e Distrito Federal (Figura 4) dominantes situam-se entre 0 e 6%, como exposto, predominantes na SRA I. Abaixo encontra-se a classe de declive de 6,1 a



12%, associada também às SRA, em especial a SRA II e III. Juntas essas duas somam cerca de 92% do território goiano e lhe atribuem um notável potencial ao uso agrícola intensivo.



**Figura 4.** Declividades do estado de Goiás e Distrito Federal; notar o predomínio das declividades de 0 a 6%, compondo extensas áreas como a do Sul e Sudoeste Goiano.

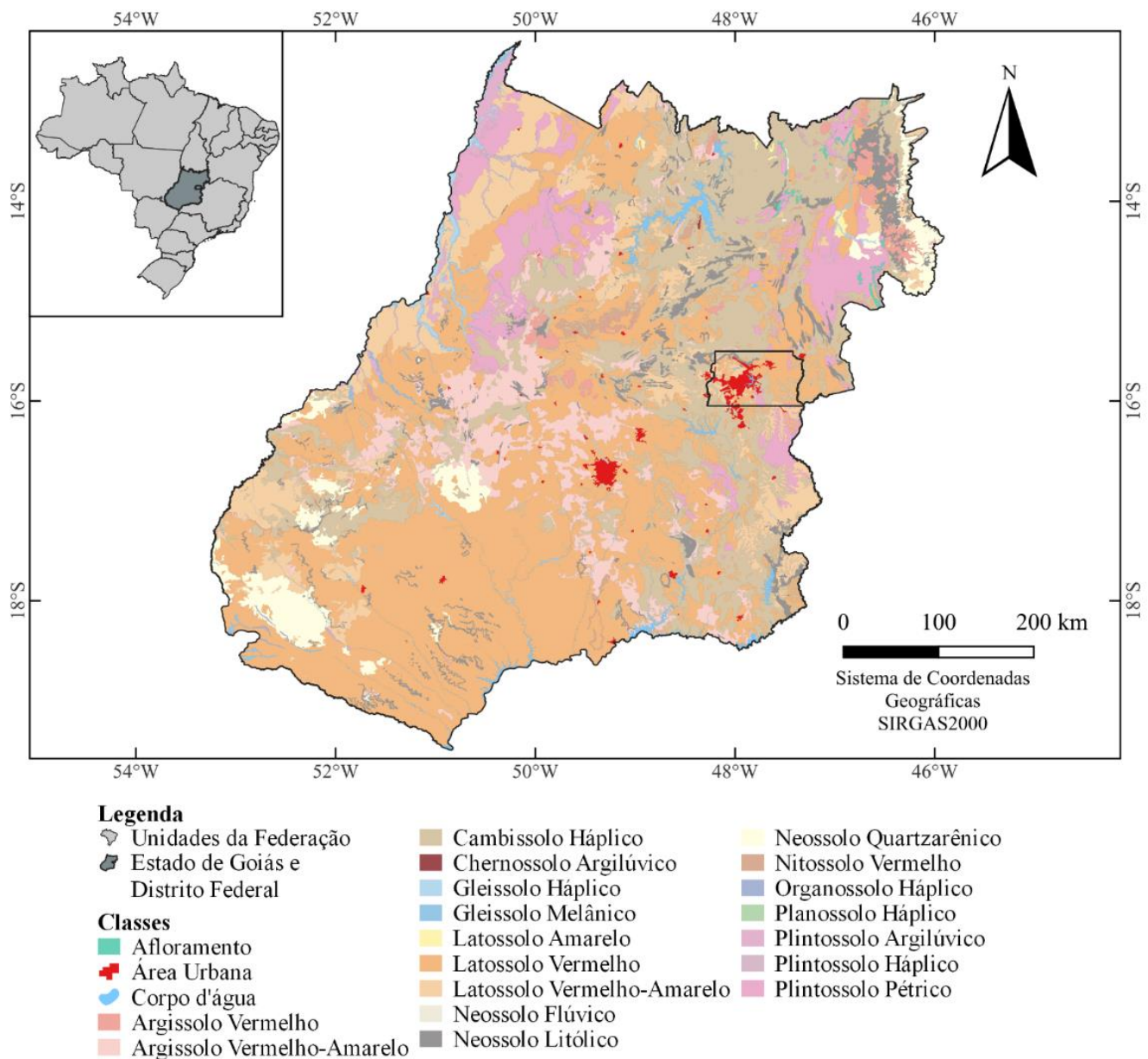
Nas ZER, equivalentes a aproximadamente 18% da área do Estado, de relevo movimentado, frequentemente escarpado, os declives são mais elevados, caracterizando dissecação erosiva marcante. Os declives mais pronunciados se encontram na porção norte, sudeste e numa pequena faixa na porção oeste, associados a morros e colinas, mas correspondem a apenas 0,02% do território, com declividade e > 45% que configuram as faixas escarpadas serranas ou das ZER. As declividades que variam de 12.1 a 20% e 20.1 a 45% correspondem a ambientes de fortes declives na porção centro-norte, sudeste e sudoeste do Estado, também em ambientes de ZER, mas representam um total de 7,91% do território. No Sudoeste as ZER se associam aos arenitos e solos de textura arenosa e no Centro-Norte, aos xistos e metasiltitos, com predomínio de Cambissolos, todos solos de elevada erodibilidade (SALOMÃO, 2015). Ocorrem de forma fragmentada nas porções Sudeste, Sudoeste, Nordeste e Centro-Norte.

Em síntese, pode-se deduzir que, em termos geomorfológicos, o Estado não apresentaria elevado potencial erosivo, menos ainda ao Sul e Sudoeste, exceto nas áreas das ZER, onde dominam solos de elevada erodibilidade.

#### 2.1.4. Pedologia

Goiás apresenta 19 classes de solos (Figura 5), mas a dos Latossolos domina em cerca de 51% do território, destacando-se a mesorregião Sul onde ocorre grande extensão contínua desses solos e domina o Latossolo Vermelho. No restante do Estado se distribuem de forma mais fragmentada e se caracterizam, sobretudo como Latossolo Vermelho Amarelo. Predominam nos topos das SRA, onde a topografia varia de plana a suave-ondulada. Os Latossolos são solos muito intemperizados, não hidromórficos e profundos, com um horizonte Bw espesso e costumam ser muito estáveis, devido sua baixa erodibilidade (EMBRAPA, 2018). Contudo, o desmatamento

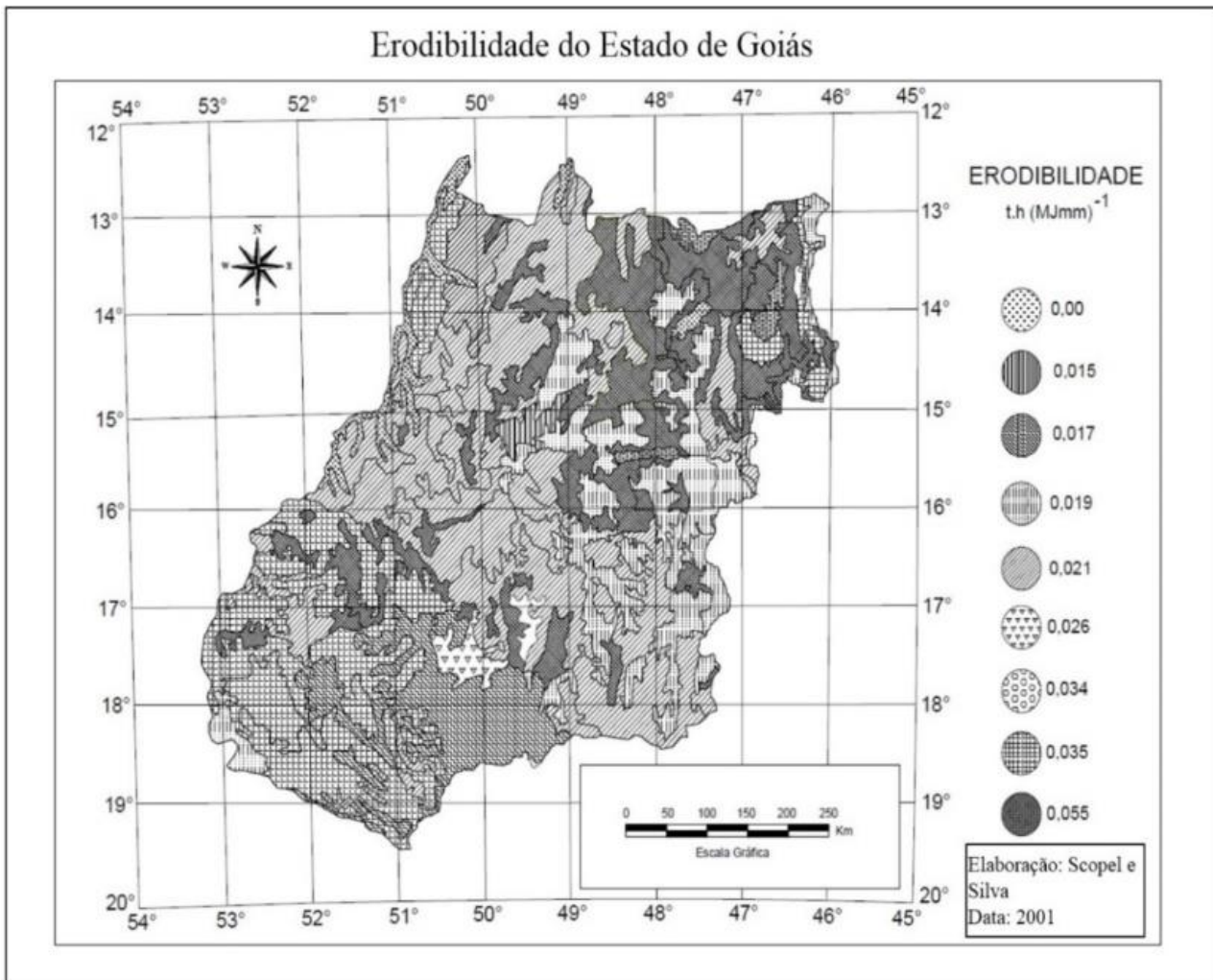
intensivo e indiscriminado pode levar à sua erosão, com formação de sulcos e até mesmo de ravinas e voçorocas, em especial em Latossolo Vermelho Amarelo, devido textura média, alta percolação de água ao longo do perfil e elevada taxa de dispersão de argila, de lixiviação intensa (REATTO et al., 2008).



**Figura 5.** Solos do estado de Goiás e Distrito Federal; notar o predomínio dos Latossolos, sobretudo do Latossolo Vermelho do Sul e Sudoeste. Fonte: EMATER (2017).

### 2.1.5. Erodibilidade

Scopel e Silva (2001) mapearam a erodibilidade dos solos do Estado de Goiás (Figura 6), mas não fizeram o cálculo de área para cada classe. Rodrigues (2020) assinala para as áreas de muito alta erodibilidade valores de 0,055 t·h·MJ<sup>-1</sup>·mm<sup>-1</sup> que ocorrem, sobretudo, na porção Nordeste, associada aos Cambissolos, além de alguns fragmentos na porção Sul. As de alta erodibilidade (valores de 0,35 t·h·MJ<sup>-1</sup>·mm<sup>-1</sup>) se situa em área continua na microrregião Sudoeste Goiano, onde predominam os Neossolos Quartzarênicos sobre arenitos, além de alguns fragmentos no extremo noroeste e extremo nordeste. A extensa área na porção Sudeste, Centro e Noroeste com valores de 0,02 t·h·MJ<sup>-1</sup>·mm<sup>-1</sup>, de média a baixa erodibilidade, correspondem a solos elevado grau de resistência à erosão.



**Figura 6.** Erodibilidade do Estado de Goiás e Distrito Federal. Fonte: Scopel e Silva (2001).

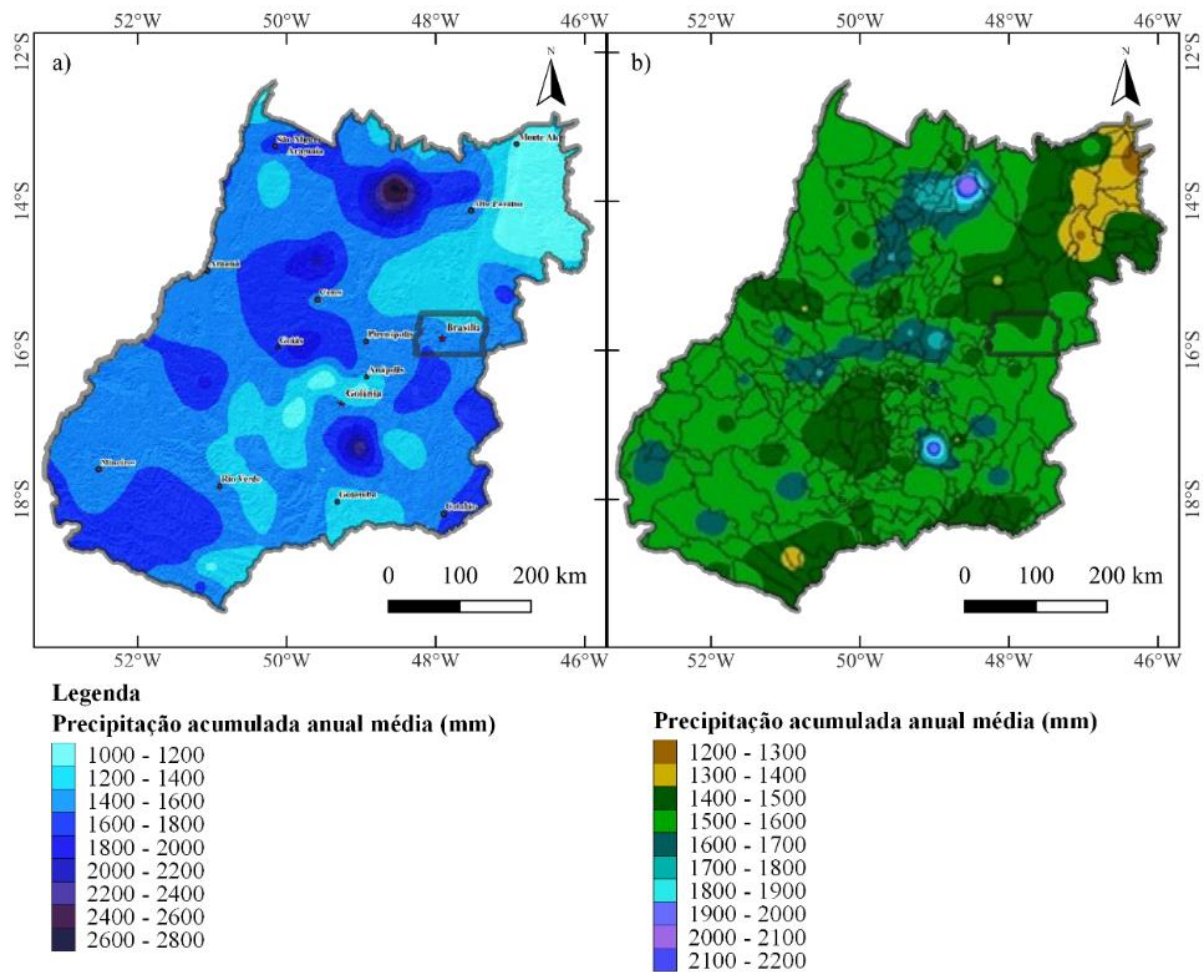
No Distrito Federal predominam valores de  $0,019 \text{ t}\cdot\text{h}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$ , de média a baixa erodibilidade, correspondem a solos com grau moderado a acentuado de resistência à erosão. Na porção Sul e extremo Sudoeste ocorrem pequenos fragmentos com valores de  $0,055 \text{ t}\cdot\text{h}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$  que não se enquadram na categoria de muito alta erodibilidade.

Em síntese, a alta a muito alta erodibilidade não domina nos solos goianos, pois ocorrem apenas no Nordeste e Sudoeste do Estado em manchas descontínuas.

#### 2.1.6. Clima

A utilização do clima no estudo da erosão hídrica é importante, sobretudo no que se refere à distribuição e intensidade das chuvas, uma das variáveis no estudo climatológico intrinsecamente relacionada com a erosividade, impacto da chuva no solo causando erosão. O estado de Goiás e o Distrito Federal apresentam clima tropical subúmido com duas estações bem contrastadas, inverno seco e verão chuvoso. Segundo a Classificação de Köppen-Geiger ocorrem em Goiás os tipos Aw (Tropical e com inverno seco) dominante no território goiano e o Cwa (Subtropical – verão quente e com inverno seco) que se restringe à porção Sudoeste com pequena porção no Nordeste do Estado (CARDOSO; MARCUZZO; BARROS, 2014).

As condições climáticas de Goiás apresentadas por Silva, Santana e Pelegrini (2006) e por Cardoso, Marcuzzo e Barros (2014) avaliaram a precipitação pluvial das estações da ANA (Agência Nacional das Águas) (Figura 7a).



**Figura 7.** Precipitação acumulada média anual – Goiás e Distrito Federal. Fonte: a) Cardoso, Marcuzzo e Barros (2014); e b) Silva, Santana e Pelegrini (2006).

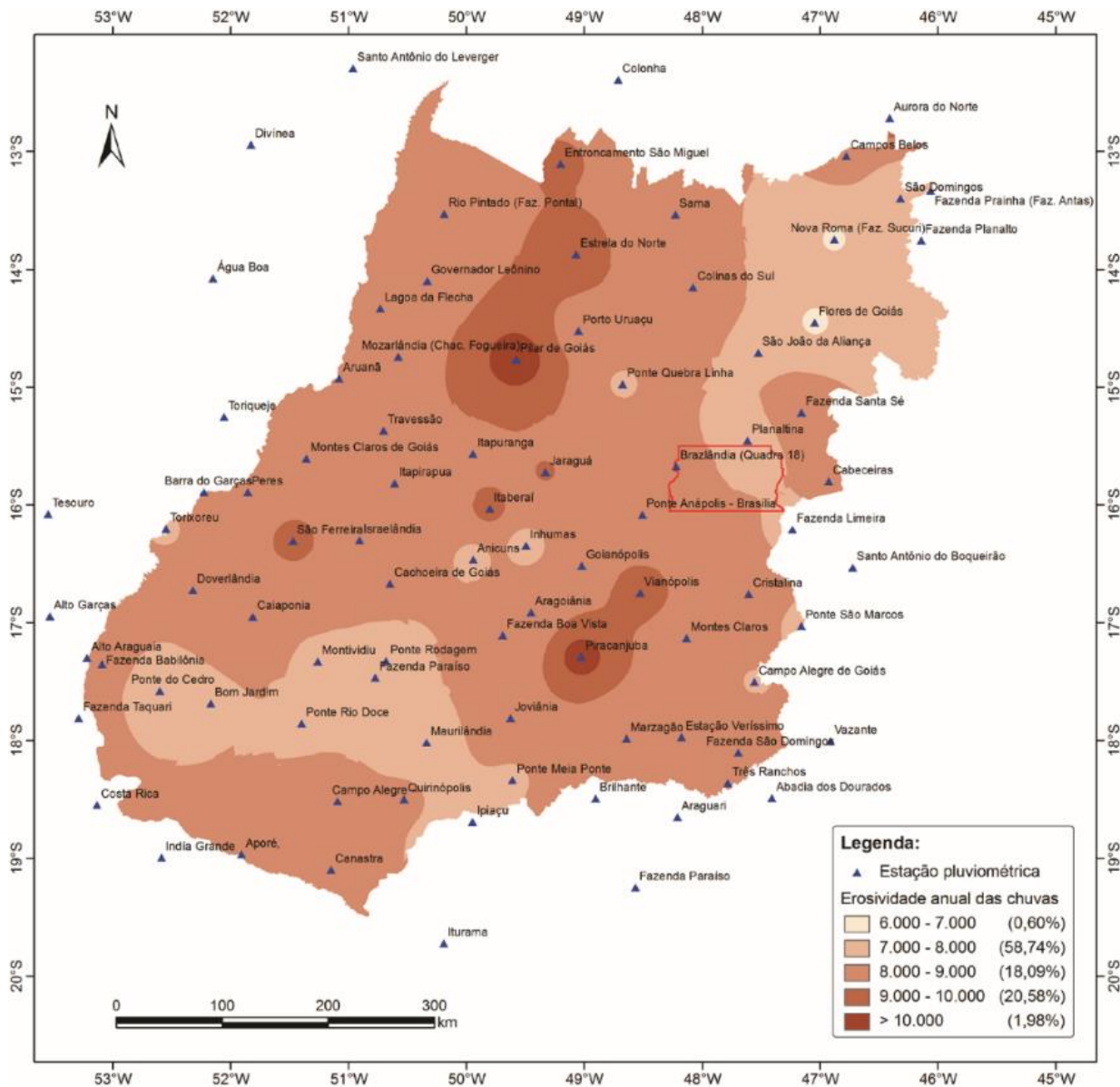
Os dados de precipitação anual para o estado de Goiás e Distrito Federal podem ser observados na figura 7b. O índice pluviométrico acumulado médio anual está em torno de 1.532 mm e 95% com chuvas concentradas de outubro a abril (SILVA; SANTANA; PELEGRINI, 2006), que se aproxima dos dados de Cardoso, Marcuzzo e Barros (2014), em torno de 1500 mm (Figura 7a). A pluviosidade é crescente do Sul para o Norte e de Leste para Oeste. Os valores máximos de precipitação apresentados por tais autores têm em comum os epicentros pluviométricos, como na região Norte, Central e Sudoeste. A precipitação pluviométrica acumulada anual de maior volume ocorre na região Centro-Norte e Sudeste, com índices de 2400 mm a 2800 mm, superiores à média geral do Estado, o que potencialmente conduziria a uma maior erosividade e consequentemente a maior erosão hídrica (CARDOSO; MARCUZZO; BARROS, 2014). Mas isso não ocorre.

Em síntese, algumas áreas apresentam maior pluviosidade, como ao Norte e Oeste, levando a supor que teriam maior potencial de erosão hídrica, devido maior erosividade, contudo, há que se lembrar que é quando é conjugada com a erodibilidade dos solos e das geoformas é que poderia potencializar esse fenômeno.

### 2.1.7. Erosividade

Galdino (2015) utilizando a metodologia de Lombardi Neto e Moldenhauer (1992), elaborou a estimativa da erosividade da chuva para o Estado. Para calcular a estimativa de erosividade utilizou dados de 88 estações pluviométricas, do período de 1980 a 2010. Para cada posto pluviométrico o autor usou a erosividade média anual, estimada pela somatória de seus índices mensais de erosão (EI). Na Figura 8 pode-se constatar que a erosividade em Goiás varia de 7.425 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> a 9.633 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, com média de 8.359 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> e que os ambientes de maior erosividade se encontram na região Nor-Noroeste onde dominam Plintossolos, Cambissolos e Argissolos, em Morros e Colinas com elevada precipitação média anual de 1700 à 2200 mm, além de uma área de

alta erosividade no Centro-Sudeste, onde os solos são um mosaico de Cambissolos, Argissolos e Latossolos, com elevada precipitação média anual de 1500 à 2200 mm. O Distrito Federal apresenta erosividade média de 8.024 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>; oscilando entre 7.796 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> e 8.348 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, classificada como forte, associada aos Cambissolos e Latossolos, sobretudo na porção Oeste onde se encontra a área urbana. Os epicentros de chuva no Estado corroboram os ambientes de elevada erosividade, como esperado (BACELLAR, 2000), cuja expectativa seria de que neles ocorreria maior concentração de focos erosivos, tal como Santana et al. (2007) mostrou para a alta bacia do rio Araguaia.

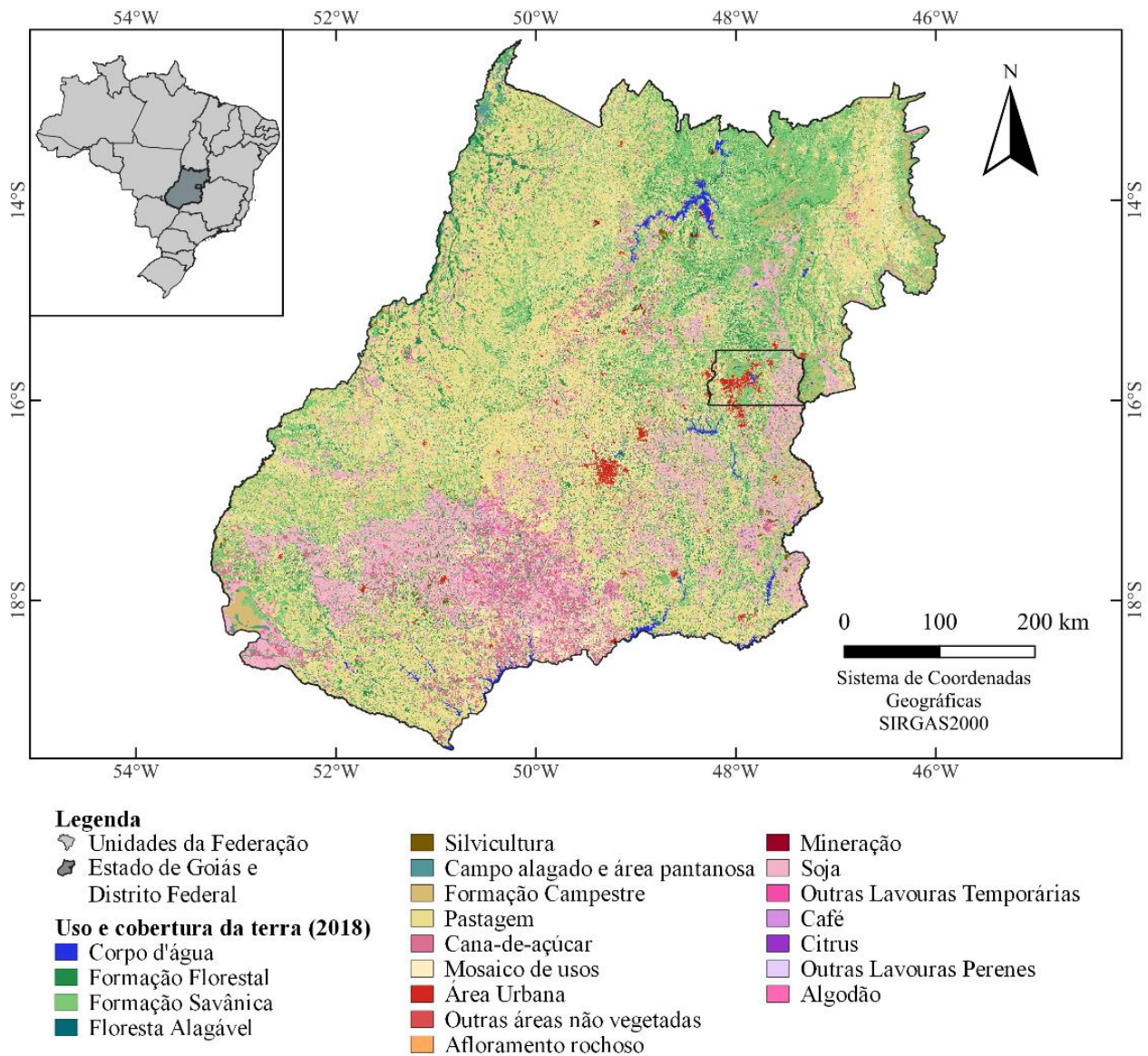


**Figura 8.** Erosividade de Goiás e Distrito Federal. Fonte: Galdino (2015).

O Sudoeste Goiano, onde ocorre grande concentração de focos de erosão hídrica linear, não é a região que apresenta maior erosividade, portanto, não parece ser a erosividade a causa mais importante do fenômeno. Mais uma vez, se conjugada à erodibilidade, aí sim, pode haver uma relação.

### 2.1.8. Uso e cobertura dos solos

O uso e cobertura dos solos do estado de Goiás e Distrito Federal elaborado pelo MapBiomas (SOUZA et al., 2020) para o ano de 2018, é apresentado no mapa da Figura 9.



**Figura 9.** Uso e cobertura das terras em Goiás e Distrito Federal. Fonte: MapBiomias (SOUZA et al., 2020).

Nessa Figura 9 pode-se constatar que a classes de vegetação nativa de porte arbóreo predomina na região Norte e Nordeste e se encontra fragmentada no restante do território, totalizando 26,09 % da área do Estado de Goiás, como também a vegetação natural campestre com 3,73 %. A pastagem cobre 40,58% e está distribuída por todo o Estado enquanto as culturas agrícolas cobrem 15,40% e predominam na mesorregião Sul. Pruski (2010) afirma que a pastagem fornece boa proteção ao solo contra a erosão, se bem manejada, bem como o gado. Caso contrário pode induzir processos erosivos, devido superpastoreio, trilheiros e compactação do solo, dentre outros impactos.

Em síntese, são poucas as áreas que naturalmente seriam suscetíveis à erosão hídrica em consequência do uso e cobertura dos solos, embora o manejo possa ser inadequado, variável não observada na escala adotada neste trabalho. E onde ocorrem solos arenosos sobre substratos areníticos cobertos por pastagem mal manejada, pode ocorrer erosão.

## 2.2. Metodologia

### 2.2.1. Estratégia da pesquisa

A investigação desenvolveu-se em etapas. A primeira tratou da revisão bibliográfica visando adquirir os fundamentos teóricos e operacionais da pesquisa, destacando-se conceitos, tipologia de focos erosivos, métodos de

avaliação e modelos interpretativos do fenômeno, valorizando-se a paisagem, por conter os condicionantes naturais, e a modelagem de base física (NUNES, 2015), admitindo-se que conduzem à suscetibilidade à erosão e seu uso e ocupação às vulnerabilidades e riscos (SALOMÃO, 2015). Essa etapa envolveu também a compilação dos materiais cartográficos digitais relativos ao meio físico e biótico e de uso do solo (geológicos, geomorfológicos, pedológicos e de uso e cobertura) existentes e disponíveis nos repositórios do Estado.

A segunda etapa envolveu a metodologia da investigação propriamente dita, a qual se inspirou na proposta de Kertzmann et al (1995), segundo a qual deve iniciar-se pelo mapeamento dos focos erosivos e cadastramento em campo, seguido de sua associação com as variáveis da paisagem (geologia, geomorfologia e solos), e as classes de suscetibilidade erosiva (Quadro 1). Kertzmann et al. (1995) basearam-se no cruzamento de dados do meio físico e uso do solo para espacializar as classes de suscetibilidade à erosão linear. Nessa etapa utilizou-se imagens de satélite de média e alta resolução espacial, bem como as compilações dos mapas de erodibilidade (adaptando a metodologia de SALOMÃO, 2015), erosividade (GALDINO, 2015), declividade (adaptando a metodologia de SALOMÃO, 2015), de densidade de focos erosivos (RODRIGUES, 2020), procedendo-se análise de relação dessas variáveis. Os dados de campo foram compilados de trabalhos anteriores (CASTRO, 2005; BARBALHO, 2010; dentre outros), dos quais os presentes autores participaram.

A identificação e mapeamento da distribuição espacial dos focos erosivos foi feita por pontos (um para cada foco erosivo) em escala de detalhe (1:15.000) com uso de técnicas de SR. No mapa de focos gerado prosseguiu-se com a delimitação das áreas críticas, ou seja, de maior concentração de feições erosivas lineares, por isodensidade, utilizando SIG, com a ferramenta Kernel do *software* ArcGIS (ESRI, 2016). Tais mapas formaram a base de dados para a elaboração do mapa de suscetibilidade à erosão linear. A relação dos focos com os dados do meio físico e mesmo entre estes foi obtida por análise geoespacial, visando desenvolver modelo para representar o ambiente, cujas propriedades variam em função da localização espacial dos pontos de observação.

**Quadro 1.** Roteiro metodológico de elaboração do Mapa de Suscetibilidade erosiva linear.

<b>Mapeamento de focos erosivos lineares</b>	<b>Avaliação dos Condicionantes (Geologia, Geomorfologia e Pedologia)</b>	<b>Mapeamento da Suscetibilidade Erosiva Linear</b>
Mapeamento dos focos por imagem de satélite.	Análise integrada da paisagem por intercruzamento dos mapas geológico, geomorfológico e pedológico.	Relação da frequência de distribuição de voçorocas por área ou índice de concentração de boçorocas (sic) (ICBs), com os diferentes tipos de rochas, relevos e solos, estabelecendo-se relações espaciais dos ICBs e as características do meio físico.
	Análise ponderada da incidência dos focos erosivos, em relação aos substratos geológicos, aspectos geomorfológicos e tipos pedológicos visando identificar seu comportamento espacial e respectivos condicionantes.	Definição de critérios de distinção de classes de suscetibilidade, contemplando diferentes níveis de predisposição dos terrenos em relação a ravinamentos e voçorocamentos e de sensibilidade à ocupação do solo.
	Fatores cartografados na escala 1:250.000.	Análise dos dados levantados e integração dos fatores geológicos, geomorfológicos e pedológicos, com base nas hipóteses de associação definidas, visando a delimitação de áreas enquadradas nas classes de suscetibilidade à erosão devido a ravinas e voçorocas.

Fonte: adaptado de Kertzman et al. (1995).

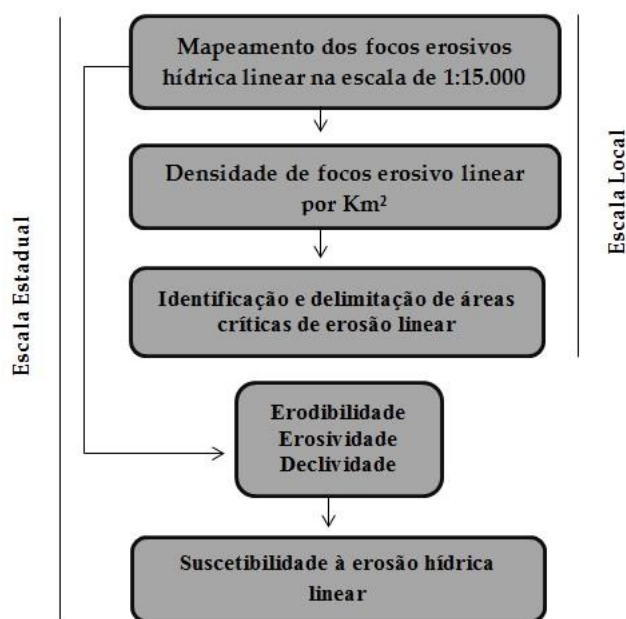
Na escala estadual, o estudo objetivou o reconhecimento das áreas suscetíveis à erosão hídrica linear quanto aos condicionantes do processo, por correlação geoespacial e análise multiproxi utilizando dados secundários. Os

mapas foram submetidos à superposição espacial dos atributos geológicos, geomorfológicos e pedológicos, além do uso das terras. Os mapas foram compilados dos bancos de dados disponíveis, sendo o de geomorfologia (LATRUBESSE; CARVALHO, 2006) na escala de 1:500.000, dos solos (EMATER, 2017) na escala de 1:250.000, do qual foi possível elaborar a erodibilidade com os índices proposto por Salomão (2015) e adaptado por Rodrigues (2020). Os dados vetoriais da rede de drenagem foram compilados do IBGE (2017), na escala de 1:100.000, e os dados de clima dos trabalhos publicados por Silva, Santana e Pelegrini (2006) e Cardoso, Marcuzzo e Barros (2014). A erosividade de Goiás e Distrito Federal foi compilada dos dados calculados por Galdino (2015). O mapa de uso das terras e vegetação remanescente do Cerrado foi compilado do MapBiomas (SOUZA et al., 2020) na escala de 1:150.000.

Todos os dados foram organizados no *software* ArcGIS (ESRI, 2016), visando realizar uma modelagem exploratória do sistema paisagístico e seus efeitos. Operacionalmente, o auxílio de geotecnologias visou a elaboração de produtos cartográficos e respectivas relações e sínteses para compreender a suscetibilidade e os conflitos de uso (discrepâncias) e compreender as variáveis intervenientes no fenômeno na escala estadual.

### 2.2.2. Análise geoespacial multiescalar e multiproxi da erosão hídrica linear

O fluxograma a apresentado na Figura 10 mostra as etapas do estudo, desde o reconhecimento e mapeamento dos focos erosivos até a elaboração dos mapas de erodibilidade, erosividade, declividade, suscetibilidade e uso e cobertura das terras aos quais o mapa de focos foi associado.



**Figura 10.** Fluxograma da análise geoespacial multiescalar da erosão hídrica linear.

### 2.2.3. Elaboração do mapa dos focos erosivos lineares

Para o mapeamento dos focos erosivos foram utilizadas as imagens *GeoEye-1*, coloridas, com resolução espacial de 1,65 m, referentes a setembro de 2016, disponíveis no sítio Google Earth. Para o mapeamento a escala adotada foi de 1:15.000, detalhe suficiente dada a dimensão territorial a ser mapeada. O *software* utilizado foi o ArcGIS com as ferramentas *Bing*, da extensão *ArcBruTile* para visualização das imagens que cobrem todo o Estado, sendo criado um dado vetorial do tipo *shapefile* para os pontos. Todo esse mapeamento é um atributo como escala local, mesmo que realizado para uma área de ampla dimensão territorial o estado de Goiás juntamente ao território do Distrito Federal.

Os focos erosivos foram localizados por interpretação visual nas imagens das feições erosivas alongadas, as quais foram pontuados nas suas cabeceiras, desconsiderando-se os sulcos e a diferença entre ravinas e voçorocas, por não haver um método específico aplicável. A identificação de cada foco por interpretação visual foi possível

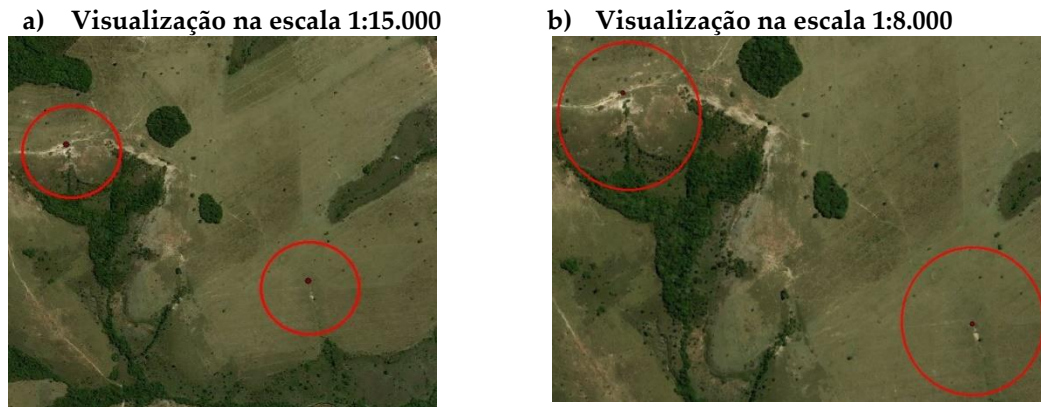


pela alta resolução espacial das imagens, na qual o foco sempre aparece associado a algumas características. Os critérios de identificação dos focos estão apresentados no Quadro 2, a seguir.

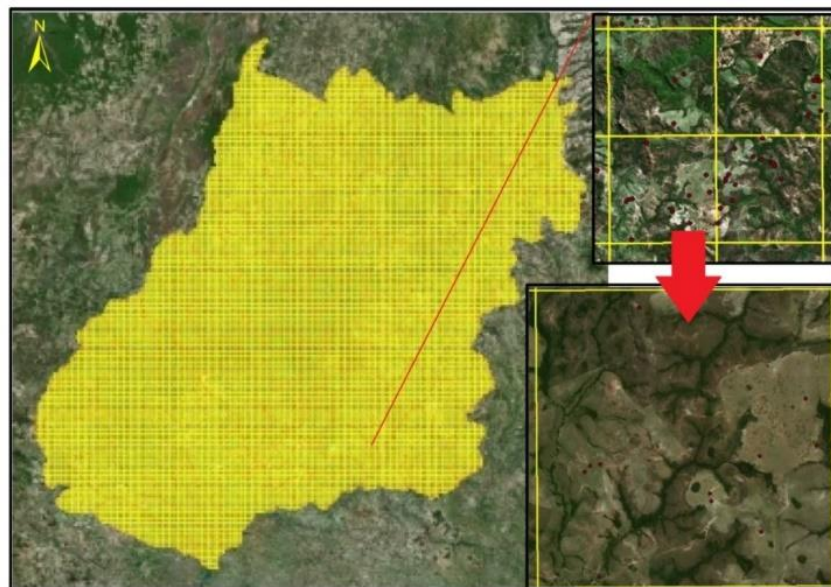
**Quadro 2.** Critérios de identificação dos focos erosivos.

Critérios	Imagem Modelo
<p>Foco erosivo linear de pequeno porte, próximo a um fragmento de remanescente de Cerrado, em área de solo exposto, subsequente às curvas de nível.</p>	
<p>Foco erosivo linear conectado ao canal de drenagem, em área de pastagem, próximo à trilheiros de gado. O relevo suave indica uma rampa longa.</p>	
<p>Foco erosivo linear associado a trilheiros de gado em área de pastagem, havendo convergência tanto dos focos como dos trilheiros direcionados ao canal de drenagem. O relevo suave indica uma rampa longa.</p>	
<p>Foco erosivo linear de grande porte, conectado ao canal de drenagem em área de agricultura.</p>	
<p>Foco erosivo de grande porte em formato ovoide, com ramificação próxima ao canal de drenagem, em área de agricultura.</p>	
<p>Focos erosivos de médio (a esquerda) e grande porte (ao centro), coalescentes pelas ramificações, sobretudo a jusante, conectados ao canal de drenagem, em área de pastagem.</p>	

Durante a identificação dos focos, o solo exposto em muitos casos refletia em branco, principalmente nos ambientes de Neossolos Quartzarênicos. Os focos erosivos em canais de drenagem, quando de pequeno porte, apresentam-se em linha, como uma espécie de fratura pouco pronunciada no terreno. Os de grande porte, associados aos canais de drenagem, apresentaram-se tanto com ramificações, quanto em formato de uma só linha e, em alguns casos, com um formato ovóide. Os focos erosivos de pequeno porte, quando deixavam dúvida na visualização, requereram visualização em escala 1:8.000, para confirmação (Figura 11). Para a interpretação visual dos focos erosivos foi desenvolvida primeiramente a criação de uma graticula para orientar a varredura da imagem, como proposto por Nunes (2015), para que toda a região seja visualizada numa mesma escala, utilizando o *software* ArcGIS para a criação da malha, com a extensão *Xtools*. O tamanho de cada quadrícula adotada foi de 3 x 3 km, possibilitando uma varredura detalhada (Figura 12).



**Figura 11.** Identificação de erosão nas duas escalas 1:15.000 e 1: 8.000.



**Figura 12.** Esboço da graticula para área de identificação e mapeamento de erosões do estado de Goiás, 2019. Fonte: Google Earth (2019). Organização: Rodrigues (2020).

#### 2.2.4. Definição da chave de interpretação dos focos erosivos

Embora na detecção remota as imagens de satélite facilitem as avaliações (VRIERLING, 2006), sobretudo as de alta resolução espacial (HR), as opções para se detectar e monitorar erosões individuais tenha melhorado, um método capaz de extrair automaticamente os focos erosivos em imagens de detecção remota de alta resolução ainda não existe (DESPRATS, 2013). Assim, o mapeamento adotado foi realizado a partir da interpretação visual para o reconhecimento dos focos erosivos utilizando-se parâmetros como: textura, tons, formas/padrão e aspectos associados. Os tons são as cores de um dado conjunto de pixel segundo a composição que é adotada na imagem.

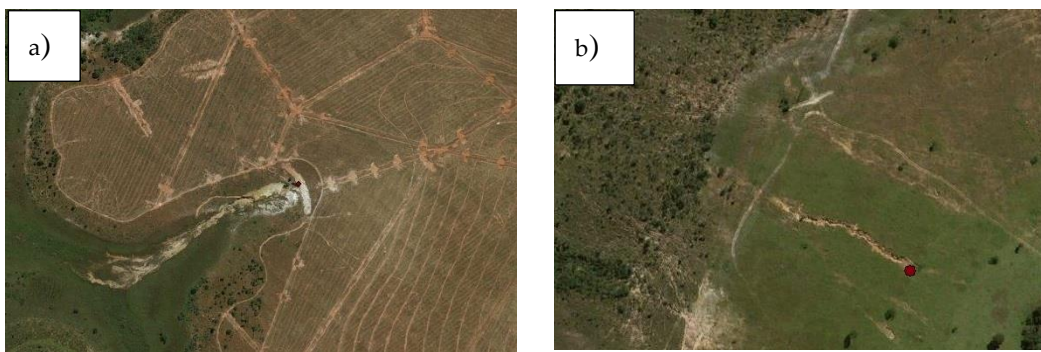
As formas são as feições do alvo, fatores importantes na identificação e foi associado ao padrão um arranjo espacial visível na imagem. A textura é a variação de tons que se verifica na imagem, um exemplo: em variações pequenas textura lisa, nas variações abruptas a textura é rugosa. Os aspectos associados são as feições geográficas localizadas nas proximidades (FLORENZANO, 2011).

O comportamento espectral também foi um fator utilizado, pois há um padrão segundo cada aspecto numa paisagem. O solo e a água possuem diferenças, sendo possível distinguir a água, que de maneira geral absorve grande parte da energia eletromagnética incidente e se apresenta nas imagens com uma cor escura, em geral preto, já para os solos a transmitância é nula, logo toda a energia incidente é refletida ou absorvida pelo solo, e os principais fatores que podem alterar a cor do solo são a matéria orgânica, a presença de ferro, o teor de umidade e a granulometria (CENTENO, 2009).

No quadro 4 e Figura 13, apresenta-se a chave de interpretação utilizada para a identificação das erosões em imagens *GeoEye*. Na figura 13, é possível observar algumas erosões que foram pontuadas e utilizadas para demonstrar como é realizada a identificação. Esses aspectos foram avaliados para a aplicação no mapeamento. No entanto, os focos erosivos não foram classificados na tabela de atributos do dado vetorial, decisão tomada diante da extensão da área de estudo. Contudo, manteve-se sua classificação para as áreas críticas, em escala de maior detalhe, posteriormente ao mapeamento e identificação dessas áreas.

**Quadro 4.** Chave de interpretação para identificação e mapeamento de focos de erosões linear.

Classes de Identificação	Tonalidade	Textura	Forma	Aspectos Associados
Voçoroca	Clara (semelhante a solo exposto) / tonalidade escura quando atinge lençol freático.	Lisa	Alongada (extensa), por vezes ramificada	Próximo ou conectado à canal de drenagem/ Área de uso para agricultura ou pastagem.
Ravinas	Tonalidade clara (semelhante a solo exposto).	Lisa/ aveludada	Linear	Estrada/ Canal de drenagem/ Trilheiros em áreas de pastagem / Declividade suave e rampa longa.



**Figura 13.** Exemplo para interpretação para identificação e mapeamento de focos de erosão linear. a) Voçoroca; b) Ravina.

Ao longo do mapeamento foi possível constatar que próximo às drenagens o solo exposto é bem claro, confundindo a interpretação, adotando-se a linearidade como critério para mapear como foco. Os sulcos não foram considerados no mapeamento dada a escala adotada, pois que, numerosos, rasos e estreitos e podem ser resolvidos com as máquinas de preparo do solo.

#### 2.2.5. Distribuição e densidade dos focos erosivos

Procedeu-se à análise espacial dos focos no respectivo mapa, representados por pontos marcados no começo do foco a montante, um para cada foco, independentemente da feição erosiva, se ramificada ou não (se ramificada

marcação no maior eixo). Utilizou-se o estimador de densidade Kernel do *software* ArcGIS, uma ferramenta geoespacial que calcula, para uma dada área, a magnitude por unidade a partir dos pontos, indicando como se dispõem para uma dada superfície contínua. A escolha do tamanho da célula nessa ferramenta é uma função opcional que se refere ao conjunto de dado *Raster* de saída. Optou-se pelo valor 30m que é o valor correspondente ao valor do tamanho de pixel de um modelo digital de elevação da SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). Foi utilizado o raio de busca padrão, calculado para o conjunto de dados de entrada usando o método da regra prática de Silverman (SILVERMAN, 1986), método padrão do *software* ArcGIS. Para as unidades de área que correspondem aos valores de densidade de saída, foi selecionada em km<sup>2</sup>, cujos valores de saída representam o valor de densidade e distância entre os recursos planares. Esta mesma ferramenta já foi utilizada para as mesmas finalidades por Santana et al. (2007), Barbalho (2010) e Nunes (2015) em regiões do Estado de Goiás.

A partir dessa ferramenta foi possível identificar as áreas com maior e menor concentração de focos erosivos, bem como selecionar as áreas mais críticas, com os maiores valores da densidade de focos as quais foram classificadas por graus de criticidade. O mapa de isodensidades de focos foi então relacionado às variáveis do meio físico e biótico de modo a identificar os parâmetros e as possíveis causas do fenômeno.

### 2.2.7. Isodensidade dos focos erosivos e critérios de delimitação das áreas críticas

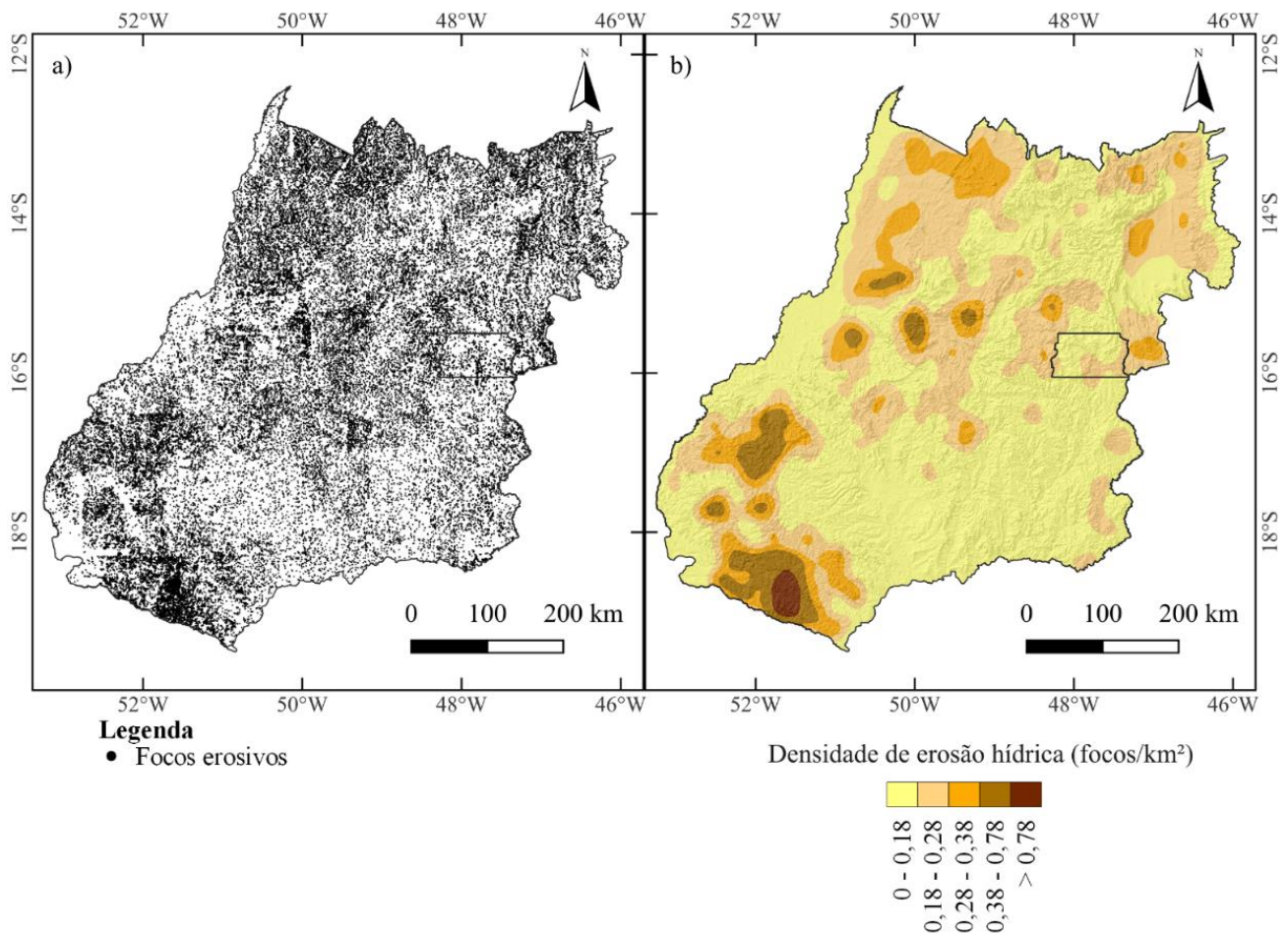
Com base no resultado da isodensidade dos focos erosivos, utilizando o *software* ArcGIS, se obteve as sucessões de áreas concêntricas de focos, segundo a densidade de ocorrência. É importante esclarecer que a isodensidade corresponde a uma contagem dos pontos (no caso os focos das erosões mapeadas) e o estabelecimento das áreas de concentração diante da concentração de ocorrência, separando em áreas, que possuem variação sucessiva, traçando as áreas de delimitação das áreas-polo, i.e. de menor concentração (CHIOSSI, 2013). Na escala local, com o resultado do Kernel foi possível identificar as áreas de maior densidade de focos erosivos de forma supervisionada, passando o arquivo do formato *Raster* para vetor do tipo polígono e sobrepondo com pontos de focos erosivos, visualmente identificando os intervalos que correspondiam às áreas críticas. A classificação de criticidade foi atribuída por uma concentração elevada de focos em um determinado perímetro. Optando-se pela extração em formato de vetorial dessas áreas, cujos intervalos que as compõem varia de 0,28 a 1,59 focos·km<sup>-2</sup>. As áreas correspondentes a maior isodensidade foram classificadas como áreas extremamente críticas (AEC), áreas críticas (AC), áreas moderadamente críticas (AMC).

As áreas de alta densidade de focos erosivos que correspondem à maior concentração de focos, entre 0,28 a  $\geq$  1,59 focos·km<sup>-2</sup>, as quais foram parâmetro para a classificação quanto ao grau de criticidade, em três classes aqui propostas, a saber: Área Extremamente Crítica (AEC), Área Crítica (AC) e Área Moderadamente Crítica (AMC). A classificação de criticidade de uma AC, de extremamente crítica à moderadamente crítica, levou em consideração a densidade de focos de erosão hídrica.

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1 Densidade de Focos Erosivos

O mapeamento de focos erosivos lineares por pontos em que cada unidade corresponde a um foco erosivo na escala adotada de 1:15.000 e 1:8.000 (Figura 13 a), indica a presença de 67.043 focos erosivos lineares identificados como ravinas e voçorocas de médio a grande porte. O mapa de focos (Figura 13a) apresenta áreas mais escuras devido ao elevado número de focos identificados, onde as maiores concentrações se situam nas regiões Sudoeste, Central, Nordeste e Norte do Estado. Para o produto cartográfico de densidade de erosão hídrica (Figura 13b), o raio de busca do método de densidade kernel calculado pelo método da regra prática de Silverman (SILVERMAN, 1986) foi de 26,3 km que permitiu perceber claramente uma distribuição espacial preferencial dos focos erosivos, configurando concentrações ou agrupamentos (*clusters*), devido à proximidade dos pontos, configurando zonas mais escuras. As densidades predominantes para todo o Estado variaram de 0 a 18 focos/km<sup>2</sup> na escala adotada, correspondendo às áreas de mínima e máxima ocorrência de focos erosivos, respectivamente, observando que os intervalos para a densidade foram atribuídos pelo próprio *software* ArcGIS, optando-se por 5 intervalos diferentes para tornar os dados de densidade erosiva mais legível.



**Figura 13.** Focos Erosivos Lineares (a) e Densidade de Focos Erosivos Lineares (b) do estado de Goiás e Distrito Federal para o ano de 2016. Fonte: Elaborado pelos autores.

Pode-se constatar que a maior área em extensão e com maior densidade de focos erosivos lineares se localiza na mesorregião Sul Goiano, mais especificamente na sua porção Sul-Sudoeste. A densidade varia de 0 à > 1,59 focos-km<sup>-2</sup>, em que os de grande dimensão relacionam-se preferencialmente aos arenitos da Formação Botucatu/Pirambóia e do Grupo Bauru, em SRA com declividade entre 0 e 12%. Trata-se, portanto, de relevo suave, com topos amplos e suaves e encostas igualmente suaves configurando rampas longas, mas com solos são considerados frágeis, como os Neossolos Quartzarênicos associados à Latossolos Vermelho-Amarelos de textura média a arenosa, ocupando extensa área. São solos de muito alta erodibilidade, em áreas com alta densidade de rede de drenagem e predomínio de pastagem com remanescentes de Cerrado fragmentados.

Tais dados corroboram diversos estudos anteriores realizados há mais de 15 anos, como o realizado na Alta Bacia do rio Araguaia (ABA), por Santana et al. (2007), numa escala média ou regional (1:250.000). A autora identificou 304 focos erosivos/62.000 km<sup>2</sup> de área, de grande porte, e utilizando a referida ferramenta Kernel, constatou que os focos configuravam agrupamentos (*clusters*), tratados como polígonos, cujas áreas coincidiam com as áreas de alta erodibilidade, os epicentros de chuva e as manchas de Neossolos Quartzarênicos associados à pastagem e estradas mal planejadas ou manejadas. Contudo, a erosividade, tipicamente tropical, não foi determinante, pois não corroborou a mesma relação espacial.

Como já relatado por Barbalho (2002) e Castro (2005), o Setor Sul da ABA, das nascentes do rio Araguaia (com pouco mais de 1.500 km<sup>2</sup> de área), foi intensamente estudado em escalas de detalhe (1:50.000 e maiores), por ser considerado um dos que apresenta maior concentração de focos erosivos lineares de médio a grande porte (23 voçorocas ao todo em 1998), podendo mesmo atingir de >1 a 4 km de extensão em seu eixo maior, cadastrados em campo pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas/IPT e a extinta Metais de Goiás/ METAGO (IPT/METAGO, 1998). Alguns apresentaram sistema de cortes e preenchimentos sucessivos indicando fases sucessivas de entalhe, alguns descarregando grande quantidade de sedimentos nos canais fluviais e planícies fluviais, mesmo desviando-os e

matando o buritizal e outras coberturas ripárias, como a denominada erosão Chitolina (ou Jacuba, do córrego homônimo). Esta foi recentemente reestudada por Faria et al. (2017), com auxílio de drone. Na maioria surgiram na década de 1981, quando a fronteira agrícola lá chegou (CASTRO, 2005).

Marinho et al. (2006) caracterizaram o comportamento dos solos e de uma ocorrência erosiva desse setor e também monitoraram o lençol freático. Identificaram uma sucessão lateral de Neossolo Quartzarênico órtico, Neossolo Quartzarênico hidromórfico e Gleissolo, dispostos em topossequência e os dados do monitoramento, os autores atribuíram a erosão do tipo voçoroca à junção jusante do lençol freático raso com o escoamento superficial vindo de montante, associando-o à estação chuvosa, à pastagem e a grande mudança de uso do solo (Cerrado - pastagem – soja - pastagem) em cinco anos (1998-2002), justamente quando o voçorocamento começou.

Nunes (2015), Nunes e Castro (2023, neste número) aprofundando o estudo para o município de Mineiros e arredores, nesse mesmo Setor Sul, em escala de ultra detalhe (1/2.000), identificou 3 áreas críticas, de maior densidade de focos, uma a noroeste, outra a oeste e uma a sudeste, todas com Neossolo Quartzarênico desde o topo dos interflúvios ou nos seus terços médio e inferior e submetidos a pastagens. Nunes e Castro (2015) corroboram a constatação anterior de estarem relacionados ao substrato geológico arenítico da Formação Botucatu, aos Neossolos Quartzarênicos e às baixas declividades, em rampas longas, retilíneas ou convexo-côncavas muito suaves, tendo sofrido desmatamento generalizado e indiscriminado, convertidas em pastagens e apresentando numerosos trilheiros de gado, cercas de divisa e estradas vicinais sem medidas preventivas de controle de enxurrada.

Nunes e Castro (2015), trabalhando em escala de ultra detalhe (1: 2000) e com imagens de alta resolução espacial, contabilizaram 5.678 focos erosivos (exclusive sulcos) sobre imagens *Spot* disponíveis no *Google Earth* e *RapidEye*, identificando desde pequenas ravinas até grandes voçorocas, cobrindo uma área afetada de aproximadamente 2.658,24 há onde encontraram áreas de densidade alta que variam de 0,28 à > 1,59 focos·km<sup>-2</sup>, contribuindo diretamente para o assoreamento de canais fluviais, em especial do rio Araguaia. Os autores ainda constataram que os focos erosivos, assim como a sua concentração, possuem estreita relação com as características morfométricas e morfográficas da área, como baixas declividades, em rampas longas, retilíneas ou convexo-côncavas muito suaves contendo linhas de fluxo preferencial.

Na mesorregião do Noroeste Goiano há poucas áreas com densidade de focos elevada, e os focos têm dimensão menor (pequenas ravinas), com valores de densidade variando de 0 a 0,78 focos·km<sup>-2</sup>. Há um mosaico diversificado de solos, como Argissolos, Plintossolos, Latossolos, e predomínio de classes de baixa erodibilidade. O predomínio de pastagem como principal uso, associado às SRA e aos morros e colinas descontínuos constituem áreas preferenciais, mas as áreas de maior densidade de focos erosivos estão ligadas diretamente às áreas de alta erosividade, contrariamente à ABA e seu setor Sul. Entretanto, chama a atenção o número elevado de focos associados à rede de drenagem, assim como às estradas e a trilheiros de gado em áreas de pastagem.

Ferreira, Ferreira e Lobo (2007) realizaram um estudo dessa região, avaliando o risco de desmatamento, classificaram-no como de alto risco por ser favorável à conversão do Cerrado em áreas de agricultura e sobretudo de pecuária extensiva. Dados do MapBiomias (SOUZA et al., 2020) mostram que a área já está altamente fragmentada em relação às fitofisionomias naturais. Assim, pode-se concluir que os focos estão ligados à atividade humana, sendo possível identificar que na mesorregião Noroeste que estão associados ao manejo inadequado das terras, sobretudo pastagens.

Analisando comparativamente a mesorregião Sul e Noroeste do Estado, é interessante lembrar que ambas fazem parte de áreas de alta densidade hidrográfica. A mesorregião Sul corresponde à uma parte da região hidrográfica do rio Araguaia e à bacia hidrográfica do rio Paraná. E no Noroeste predomina a região hidrográfica do rio Araguaia, sendo os de maior densidade hidrográfica do Estado. Freitas (1952) aponta que a densidade hidrográfica é uma variável importante e fundamental no estudo dos ciclos erosivos, por ser a hidrografia o agente responsável pela configuração e esculturação do relevo. A alta densidade de drenagem indica grande atividade erosiva, de dissecação do relevo em climas úmidos.

Na mesorregião Norte Goiano, a densidade de focos varia de 0 a 0,38 focos·km<sup>-2</sup>, não sendo elevada se comparada às demais mesorregiões. No entanto, a área de densidade elevada corresponde à área onde predominem solos de baixa erodibilidade, o que pode auxiliar é a cobertura vegetal, ambiente que ainda predominam fragmentos extensos de Cerrado, esses ambientes do nordeste de Goiás apresentam uma variedade de paisagens geomorfológicas, se destacando os relevos ligados à Serra Geral de Goiás, às superfícies aplainadas elaboradas pelo recuo das mesmas e a relevos cárnicos (ROSA; ZANCOPÉ; BAYER, 2015).

É preciso observar que há limitações para se detectar áreas erodidas com SR em ambientes com cobertura vegetal densa, assim como o sombreamento do relevo das bordas das encostas, o que dificulta a visualização (VRIELING, 2006). No caso da mesorregião Norte Goiano, a maior densidade de focos também está claramente associada à pastagem e trilheiros, apresentando-se como pequenas ravinas sem rupturas abruptas, mas esse número pode ser maior, por de ser uma área de relevo movimentado.

Na mesorregião Centro Goiano, a densidade de focos varia de 0 a 0,78 focos·km<sup>-2</sup>. Sua dimensão varia, desde pequenas ravinas até grandes e extensas voçorocas, estas associadas às áreas urbanas ou mesmo aos maiores canais de drenagem. Os litotipos encontrados compõem um mosaico diversificado, embora os de maior ocorrência sejam o xisto e o metagabronorito. O relevo é dominado por amplas SRA, a III e IV, a ZER e pequenas ocorrências de Morros e Colinas, cujas declividades variam de 0 a 20% e os solos configuram um mosaico de Latossolos Vermelhos, Argissolos Vermelho-Amarelos e Cambissolos, estes dois últimos de maior erodibilidade. Localizada nessa mesorregião a Região Metropolitana de Goiânia (RMG) já possui vários estudos sobre erosão urbana, incluindo cadastramento e monitoramento de focos como de Nascimento (1994), Santos (1997), Sales e Nascimento (2003); Faria (2008) e recentemente Cavalcante (2019) e Cavalcante e Castro (2019). Um fator condicionante dessa erosão é a falta ou ineficiência de infraestrutura nos bairros espontâneos (drenagem urbana), ou seja, irregulares na origem, que se sucederam de sudeste a noroeste configurando um arco, sobretudo desde os anos 1980, sendo bairros sem rede de drenagem urbana, e mesmo sem disposição adequada de arruamentos e lotes, não raro cortando as curvas de nível e no mesmo sentido. Se destaca a bacia hidrográfica do ribeirão João Leite, onde foram identificados focos erosivos lineares, sendo que as áreas mais suscetíveis à formação de voçorocas e ravinas apresentam relevos dissecados, sendo estes as cabeceiras em anfiteatros e escarpas erosivas em solo de elevado gradiente hidráulico subterrâneo e superficial (CARVALHO; LATRUBESSE, 2008).

Na mesorregião do Leste Goiano as densidades variam de 0 a 0,78 focos/km<sup>-2</sup>, situadas preferencialmente em terrenos onde predominam substratos Laterita, Argila e Areia, Depósitos de areia, Filito e Quartzito, sustentando SRA II e III e sua circundante ZER onde a dissecação erosiva é bastante ativa. Quanto aos solos, há um mosaico diversificado, com Latossolos Vermelhos, Latossolos Vermelho-Amarelos, Argissolos Vermelho-Amarelos e Cambissolos, cuja erodibilidade pode ser baixa (Latosolos), moderada (Argissolos) e até alta (Cambissolos). Contudo, a erosividade é baixa. Nessa mesma região ocorrem áreas de alta densidade de focos variando entre 0,18 a 0,38 focos·km<sup>-2</sup>, com solos frágeis, sobretudo na Microrregião do Vão do Paranã. Possui Latossolos Vermelho-Amarelos, Plintossolos Pétricos e Argissolos Vermelho-Amarelos, que juntos cobrem mais de 50% da área, e onde foi constatada a predominância de solos suscetíveis à compactação, assim como solos favoráveis ao desenvolvimento de erosões (PONCIANO, 2017).

Especificamente, a microrregião do Vão do Paranã, contemplada pela II Fase da Reserva da Biosfera do Cerrado, foi estudada recentemente por Ponciano, Rodrigues e Faria (2019), que realizaram avaliação da estrutura da paisagem utilizando a compartimentação morfo-pedológica e recorte temporal de 1984 e 2015, destacando que há fragmentação crescente das áreas de Cerrado associada ao avanço exponencial da agricultura, inclusive sobre solos frágeis. Trata-se de uma região que possui histórico de desmatamento e mudanças induzidas pelas frentes de expansão, o que coloca em risco o patrimônio ambiental como a Área de Preservação Ambiental das Nascentes do Rio Vermelho (SANTOS, 2015).

A porção de menor densidade de focos erosivos localiza-se a Sudeste da mesorregião Sul Goiano, a qual, apesar de ser uma área de intensa atividade agropecuária, não apresentou áreas de elevada densidade de focos. Contudo, observou-se uma importante variação no número de focos, assim como na sua respectiva dimensão, pois variam desde pequenas ravinas até grandes voçorocas, enquanto na mesorregião Norte predominam as pequenas ravinas de pouca profundidade.

Em síntese, o mapeamento dos focos erosivos do Estado como um todo e sua distribuição permitem constatar uma associação entre as maiores densidades de focos e determinados fatores do meio físico e mesmo de uso ocupação, ou seja, a fragilidade de certos litotipos e solos associados de elevadas erodibilidade que favorecem o processo por sua suscetibilidade, como os arenitos da Formação Botucatu e os Neossolos Quartzarênicos derivados, como uma clara assinatura geológico-geomorfológica do processo erosivo, quanto às grandes ravinas e as voçorocas, mas, descartando também a relação entre um número elevado de focos em extensas áreas de pastagens. Já para as áreas urbanas com alta densidade de focos erosivos (Goiânia, Distrito Federal), também há uma associação das densidades mais elevadas com o meio físico, em que o que mais se sobressai é a associação

com a impermeabilização do solo, a ocupação inadequada dos terrenos e a falta de sistema de drenagem urbana, como lembrado por Cavalcante (2019).

Por fim, nota-se que a porção norte, marcada por relevos mais movimentados, com variação de 12,01 à > 45% de declive, até mesmo as áreas de alta erodibilidade e ambientes classificados como extremamente suscetíveis à erosão laminar, não apresentam focos ou eles em sua maioria correspondem a pequenas ravinas pouco profundas, podendo até mesmo serem corrigidas por manejo adequado das terras, em especial nas áreas de pastagens. Um fator que pode explicar isso é a cobertura vegetal, por ser no estado de Goiás o ambiente onde se encontra maior área preservada da vegetação natural do Cerrado.

### 3.2. Áreas Críticas: Identificação e caracterização geral dos indicadores

As Áreas Críticas apresentaram uma grande variação de sua dimensão espacial, havendo AC cujo polígono representa 26,27 km<sup>2</sup> até 12.889,04 km<sup>2</sup>. De modo geral a distribuição das AC ocorre predominantemente na porção sudoeste do estado de Goiás, na porção central, noroeste e nordeste. As áreas de maior densidade de focos erosivos foram denominadas AC, por apresentarem a maior concentração de focos erosivos do estado de Goiás e Distrito Federal, que espacialmente configuram polígonos bem definidos (Figura 14). Essas áreas necessitam de uma avaliação em escala mais detalhada, quanto à assinatura de condicionantes com os mapas temáticos do meio físico e biótico e na identificação das prováveis causas do fenômeno.

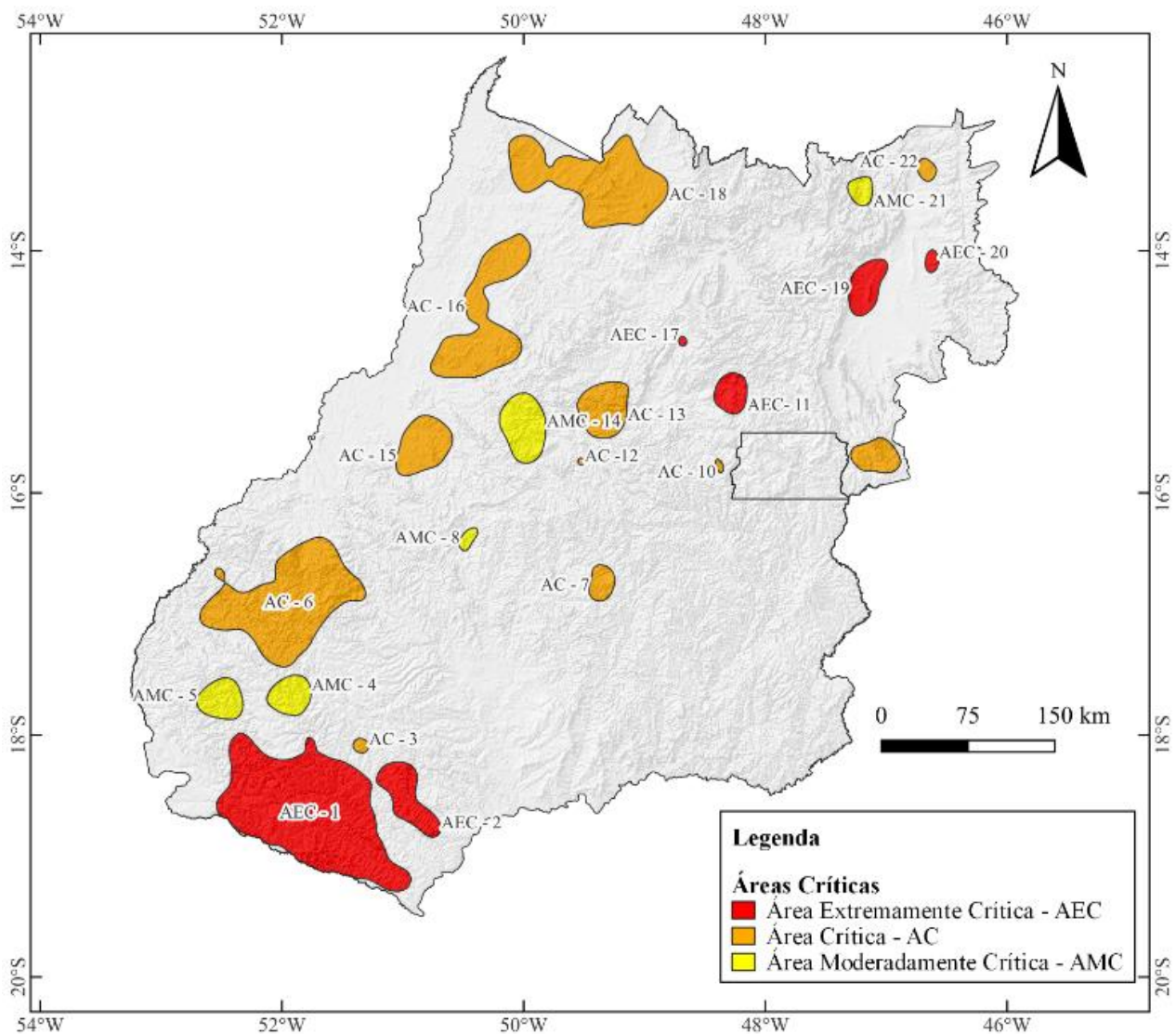


Figura 14. Áreas Críticas de Focos Erosivos Lineares do estado de Goiás e Distrito Federal.



A figura 14 mostra as AC identificadas como áreas específicas, as quais receberam um número para identificação do sentido sul para o norte. Há variabilidade no número de AC segundo cada classe, havendo 6 áreas correspondentes às Áreas Extremamente Críticas (AEC), ocorrendo no sudoeste e nordeste do estado de Goiás, e ocorrem 10 áreas correspondente às Áreas Críticas (AC) em uma faixa territorial que vai do sudoeste ao norte e apenas uma área no extremo leste do estado de Goiás. Para as Áreas Moderadamente Críticas (AMC) ocorrem 5 áreas que ocorrem em uma faixa de sudoeste, centro à norte do estado de Goiás.

As áreas classificadas como AEC são seis (AECs 1, 2, 11, 17, 19 e 20) e se localizam no extremo Sudoeste, Centro-Norte e Nordeste do Estado, com densidades entre 0,39 e 0,49 de focos·km<sup>-2</sup> (Figura 14). Apesar da AEC 1 representar maior área e número de focos elevado, ela não é a de maior densidade dentre as AEC. A de com maior densidade de focos é a AEC 17, que possui a menor dimensão espacial (48,52 km<sup>2</sup>), mas contém 8 focos. As características que marcam essas seis AEC, além da densidade, são as suas dimensões, pois a AEC 1, polígono de maior dimensão espacial, abrange 12.889,04 km<sup>2</sup>, localizado no Sudoeste Goiano, e concentra 5.073 focos, diferentemente do que acontece nas porções Centro-Norte e Nordeste, que correspondem às AEC 17, 19 e 20, com dimensões espaciais pequenas, no entanto com maior concentração de focos (Figura 15).

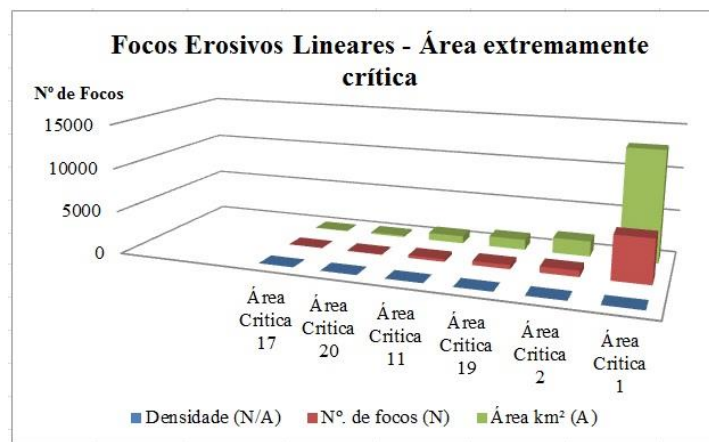


Figura 15. Número de focos erosivos para as Áreas Extremamente Críticas (AEC).

As 10 áreas classificadas como críticas, ACs 6,7, 9, 10, 12, 13,15, 16, 18 e 22, cuja densidade variou de 0,36 a 0,30 focos·km<sup>-2</sup>, estão dispersas, no entanto, as de maior dimensão espacial se situam na porção Oeste. É a única classe que possui um foco em área totalmente urbanizada, a AC 17, que corresponde à RMG (Figura 15).

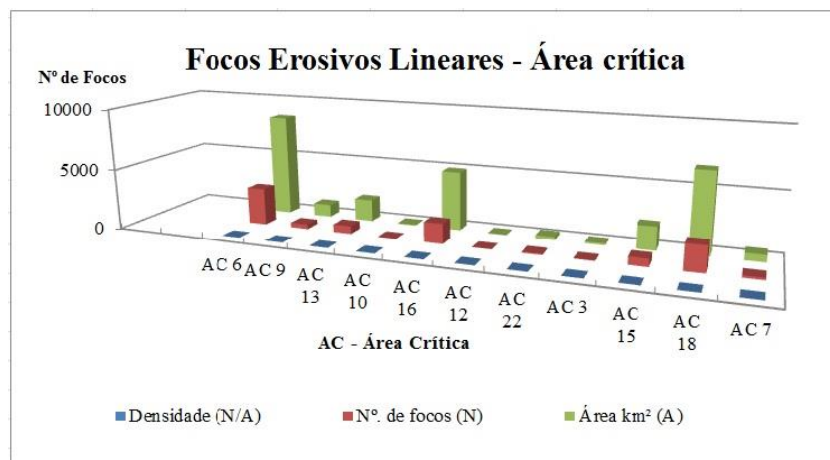
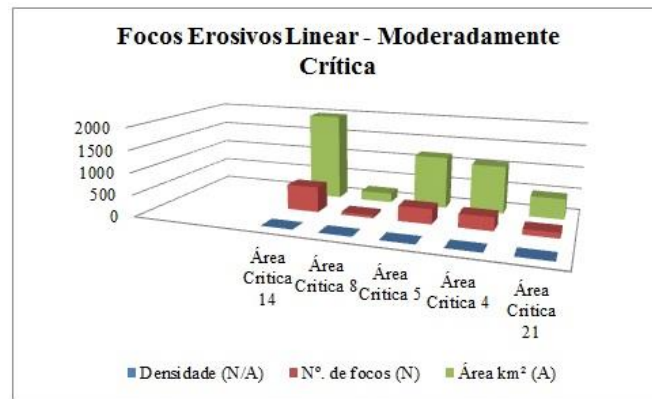


Figura 15. Número de focos erosivos lineares para a classe de Áreas Críticas.

Cinco áreas foram classificadas como moderadamente críticas, AMCs 4, 5, 8, 14 e 21, localizadas na porção Sul, Centro e Nordeste de Goiás, com densidades que variam de 0,29 a 0,26 focos·km<sup>-2</sup> (Figura 16).



**Figura 16.** Número de focos erosivos para a classe das Áreas Moderadamente Críticas (AMC).

Os mapas de focos erosivos hídricos lineares e o de densidade de focos·km<sup>-2</sup> ganham importância ao possibilitarem a identificação das áreas de maior impacto erosivo linear do estado de Goiás e Distrito Federal. O mapeamento dos focos e suas densidades é um dado fundamental, que juntamente aos dados físico-naturais de (erosividade, erodibilidade, declividade), variáveis que representam clima, solos e geomorfologia, constituem-se como variáveis para se entender o mapa de suscetibilidade à erosão linear.

#### 4. Conclusões

Este estudo da erosão hídrica linear com feições de médio e grande porte, aqui denominados focos, foi realizado para o estado de Goiás e Distrito Federal, visando entender como se distribuem espacialmente, de modo a identificar os condicionantes predominantes.

Em termos metodológicos, a estratégia de abordagem multiescalar, i.e. nas escalas estadual e local articuladas entre si, e multiproxi ou integrada, relativa à integração por relação espacial dos produtos cartográficos do meio físico, além de uso e cobertura do solo, considerando os condicionantes do processo erosivo como variáveis, revelou-se eficaz para identificar a distribuição do fenômeno.

O mapeamento dos focos por SR de alta resolução e seu registro por pontos foram imprescindíveis para delimitar as áreas críticas e avaliar sua distribuição espacial mediante seu tratamento geoespacial por isodensidades com a ferramenta Kernel do ARC Gis. O SR e o SIG na geração dos mapeamentos, assim como das análises, favoreceram o tratamento e produção de dados, associação de informações e instrumentação para a obtenção das respostas às questões postas pela pesquisa.

Merece destaque o uso de imagens de alta resolução espacial (HR) na elaboração do mapa de focos erosivos por pontos em escala de detalhe, que se mostrou essencial para identificar a distribuição preferencial (agrupamentos) configurando as áreas críticas, de maior concentração de focos erosivos, e para a compreensão do fenômeno, pela sua associação com os condicionantes (variáveis) do fenômeno e permitindo elencar os indicadores do processo.

A metodologia utilizada permitiu identificar 22 áreas com maior densidade de focos erosivos, denominadas como Áreas Críticas (AC). A classificação de criticidade variou de área extremamente crítica (AEC), área crítica (AC) e área moderadamente crítica (AMC), hierarquia que deve ser seguida nas diretrizes de controle corretivo do processo. Foram reconhecidas 10 áreas críticas, das quais 6 categorizadas como área extremamente crítica (AEC), as mais graves. Dentre essas, destaca-se a de maior extensão, localizada no Sudoeste Goiano.

Os condicionantes erosivos avaliados na escala local por associação dos polígonos das áreas críticas com os mapas temáticos em escala de detalhe, posteriormente reduzidos para a escala estadual, permitiram reconhecer os condicionantes dos processos erosivos: os geológicos (substrato arenítico), os pedológicos (solos frágeis: Neossolos Quartzarênicos ou Latossolos Vermelho Amarelos e Argissolos), o relevo (rampas longas, cabeceiras de drenagem) e o uso do solo (pastagens permitindo formação de trilheiros entendidos como um dos deflagradores do fenômeno).

O estudo em detalhe levou a identificar especificações que possibilitaram uma melhor compreensão do fenômeno, o que pode subsidiar as políticas públicas de controle da erosão em termos de estabelecer as áreas prioritárias de ações.

**Material Suplementar:** Os dados pontuais das erosões mapeadas e os polígonos das áreas críticas podem ser acessados pelo endereço: [https://github.com/revbrgeomorfologia/n\\_vocoroca/blob/main/RBG-2373-database.gpkg](https://github.com/revbrgeomorfologia/n_vocoroca/blob/main/RBG-2373-database.gpkg)

**Contribuição dos autores:** H.S.M.C.: metodologia, software, validação, análise formal, investigação, curadoria, redação inicial, visualização. S.S.C.: concepção, redação - revisão e edição, supervisão, administração do projeto e aquisição de financiamento.

**Financiamento:** Esta pesquisa foi financiada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), bolsa de doutorado junto ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do IESA/UFG e pelo CNPq – Edital Universal, processo 479010/2009-9 e PQ 306601/2020-6.

**Agradecimentos:** À CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Ensino Superior pela bolsa de doutorado e ao CNPq pelo custeio vinculado aos projetos de Pesquisa (Processos 308681/2013 e 479010-9). Ao LABOGEF – Laboratório de Geomorfologia, Pedologia e Geografia Física do IESA -Instituto de Estudos Sócio Ambientais da UFG – Universidade Federal de Goiás pelo apoio e logística. Ao Prof. Dr. Elizon Dias Nunes do LABOGEF pelo apoio técnico. Ao Editor da RBGeomorfologia, Dr. Édipo Cremon, que além de sua atribuição como editor, contribuiu eficazmente para uma melhor apresentação das figuras, e aos revisores que colaboraram para a melhoria do manuscrito.

**Conflito de Interesse:** Declaramos não haver conflito de interesse.

## Referências

1. ALMEIDA FILHO, G. S. de.; RIDENTE JÚNIOR, J. L. (Mini-curso I) Diagnóstico, prognóstico e controle de erosão. In: VII Simpósio nacional de controle de erosão. **Anais...** Associação brasileira de geologia e engenharia ambiental. Goiânia –GO, 2001.
2. BACCARO, C. A. D. Processos erosivos no domínio do Cerrado. In: GUERRA, A. J.; SILVA, A. S. da.; BOTELHO, R. G.M. (Org.) **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, temas e aplicações**. Bertrand Brasil, 1 ed. Rio de Janeiro, 1999, p.141-168.
3. BACELLAR, L. de A. **Condicionantes geológicos, geomorfológicos e geotécnicos dos mecanismos de voçorocamento na bacia do rio maracujá Maracujá, Ouro Preto, MG**. 2000. 226p. Tese de Doutorado (Programa de Pós-graduação em Engenharia) Universidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2000.
4. BARBALHO, M. G. da S.; CASTRO, S. S. de. Impactos erosivos lineares: Distribuição, fatores, condicionantes naturais e antrópicos nas bacias dos rios Claro e dos Bois, estado de Goiás – Uma contribuição metodológica. **Anais...** 13º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. 2014.
5. BARBALHO, M. G. S. **Morfopedologia aplicada ao diagnóstico e diretrizes para o controle dos processos erosivos lineares na alta bacia do rio Araguaia (GO/MT)**. 2002. 146 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Estudos Sócio-ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2002.
6. BARBALHO, M. G. S. **Processos erosivos lineares nas bacias dos rios Claro e dos Bois, afluente do rio Araguaia no estado de Goiás: relações com a cobertura vegetal e o uso da terra**. 2010, 194p. Tese de Doutorado (Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais) Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.
7. BARRETTO, A.G.O.P.; BARROS, M. G.E. & SPAROVEK, G. **Bibliometria, história e geografia da pesquisa brasileira em erosão acelerada do solo**. R. Bras. Ci. Solo, v. 32, p. 2443-2460, 2008. DOI: 10.1590/S0100-06832008000600022
8. BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 7. ed. São Paulo: Editora Ícone, 2010.
9. BERTRAND, G. **Paisagem e Geografia Física global**. Esboço metodológico. R. RA'E GA, - UFPR, n.8. CURITIBA, 2004, p.141-152.
10. BORRELLI, P.; ROBINSON, D. A.; FLEISCHER, L. R.; LUGATO, E.; BALLABIO, C.; ALEWELL, C.; MEUSBURGER, K.; MODUGNO, S.; SCHUTT, B.; FERRO, V. 2017. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. **Nature Communications**, v. 8(1), e2013, 2017. DOI: 10.1038/s41467-017-02142-7
11. CAILLEUX, A.; TRICART, J. Le problème de la classification des faits géomorphologiques. **Annales de Géographie**, v. 65, n. 349, p. 162-186, 1956.
12. CAMAPUM DE CARVALHO, J.; SALES, M. M.; SOUZA, N. M.; MELO, M.T.S. (Org.). **Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro**. 1. ed. Brasília: FINATEC, 2006. 464p .
13. CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N. BARROS, J. R. Classificação climática de Köppen-Geiger para o estado de Goiás e Distrito Federal. **ACTA Geográfica**, v8, n.16. Boa Vista, pp. 40-55, 2014.
14. CARVALHO, T. M.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia do Estado de Goiás e Distrito- Secretaria de Indústria e Comércio**. Superintendência de Geologia e Mineração. Goiás, 2006.
15. CASTRO, S. S. de; BORGES, R. de O.; SILVA, R. A. A. da; BARBALHO, M. G. da S. Estudo da expansão da cana-de-açúcar no estado de Goiás: subsídios para uma avaliação do potencial de impactos ambientais. In: SBPC, **Anais...** II Fórum de CeT no Cerrado. Goiânia: SBPC, 2007.

16. CASTRO, S. S. Erosão hídrica na Alta Bacia do Rio Araguaia: distribuição, condicionantes, origem e dinâmica atual. **Revista do Departamento de Geografia, São Paulo**, v. 17, p. 38-60, 2005. DOI: 10.7154/RDG.2005.0017.0004.
17. CASTRO, S.S.; ABDALA, K; SILVA, A. A; BORGES, V. A expansão da cana-de-açúcar no cerrado e no estado de Goiás: Elementos para uma análise espacial do processo. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 30, n, 1, p. 171-191, 2010. DOI: 10.5216/bgg.v30i1.11203.
18. CASTRO, S. S.; SALOMÃO, F. X. T. Compartimentação morfopedológica e sua aplicação: considerações metodológicas. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, v. 4, n. 1, p. 27-37, 2000. DOI: 10.11606/issn.2179-0892.geousp.2000.123401.
19. CASTRO, S. S.; QUEIROZ NETO, J.P. Soil Erosion in Brazil from Coffee to the Present-day Soy Bean Production. In: LATRUBESSE, E.M. (Ed). **Natural Hazards and Human-Exacerbated Disasters in Latin America**. Elsevier, 2009, p. 195 - 222, 2009. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0928-2025\(08\)10011-6](https://doi.org/10.1016/S0928-2025(08)10011-6)
20. CASTRO, S. S.; XAVIER, L. S.; BARBALHO, M. G. S. **Atlas geoambiental das nascentes dos rios Araguaia e Araguainha: condicionantes dos processos erosivos lineares**. Goiânia: Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Goiás, 2004.
21. CAVALCANTE, L.R. **Análise da Evolução da Paisagem Urbana de Goiânia (GO) e a Distribuição dos Focos Erosivos Hídricos de 1992 a 2016**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Goiás, Instituto de Estudos Socioambientais (IESA), Goiânia, 2019. 219 p.
24. CAVALCANTE, L.R.; CASTRO, S.S. Space-time dynamics of urban water erosive features in Brazil: the case of Goiânia, capital of Goiás State. In VIEIRA, A (Org.) **Soil Conservation: Strategies, Management and Challenges**, cap. 4: 1-37, Nova Science Publishers, Inc.N. York., 2019.
25. CENTENO, J.A.S. **Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens Digitais**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2009.
26. CHIOSSI, N. **Geologia de Engenharia**. 3ª Ed. Of.de Textos, 2013.
27. CHRISTIAN, C. S. The concept of land units and land systems. In: Proc. Pacific Sci. Cong., 9th, 1958, **Annals...** p. 74-81. 1958.
28. EMATER – Agência Goiana de Assistência Técnica, Extensão Rural e Pesquisa Agropecuária. **Refinamento do mpeamento de solos para escala de 1:250.000**, 2017. Disponível em: <<http://www2.sieg.go.gov.br/>>.
29. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**, 3ª Ed. Brasília: Embrapa Solos. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2018.
30. Esri Inc. **ArcMap (versão 10.x)**. Redlands, Estados Unidos, 2016.
31. ESTEVAM, L. **O tempo da transformação: estrutura e dinâmica da formação econômica de Goiás**. 2ª Ed., Goiânia: UCG, 2004.
32. FARIA, K.M. S de. Processos Erosivos Lineares No Município De Goiânia In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2008, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV. 2008.
33. FARIA, K. M. S. de; CASTRO, S. S. Uso da terra e sua relação com os remanescentes de cerrado na alta bacia do rio Araguaia (GO,MT e MS). **Geografia (Rio Claro)**, v. 32, p. 657-668, 2007.
34. FARIA, K. M. da S.; SOARES NETO, G. B.; COSTA, J. V. S.; FERREIRA, M. E. **Dinâmica erosiva de processos tropicais: três décadas da erosão Chitolina**. 2017. XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. I Congresso Nacional de Geografia Física. Campinas – São Paulo, 2017.
35. FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M. E.; LOBO, F. C. Riscos de desmatamento e potencial de regeneração da vegetação nativa: Definindo prioridades e estratégias territoriais. **Boletim Goiano de Geografia**, v.27, n.1, p.83-96, 2007. DOI: 10.5216/bgg.v27i1.3576
36. FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. Oficina de Textos, São Paulo, 2008.
37. FLORENZANO, T. G. **Interpretação de imagens**. INPE, 2011. Disponível em: [http://www.dsr.inpe.br/vcsr/files/Interpreta\\_UsoEscolar-2011.pdf](http://www.dsr.inpe.br/vcsr/files/Interpreta_UsoEscolar-2011.pdf). Acesso em: fevereiro de 2017.
38. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - (FAO). **Status of the World's Soil Resources 2015**. Disponível em [www.fao.org/publications](http://www.fao.org/publications). Acesso em: dez. de 2015.
39. FREITAS, R. O. Textura de drenagem e sua aplicação geomorfológica. **Boletim Paulista de Geografia**, v. 11, p. 53-57, 1952.
40. GOOGLE EARTH. **Imagem de satélite do Estado de Goiás**. Captura de tela do Google Earth Pro. Earth, versão 7.3.6, 2019.
41. GALDINO, S. **Distribuição espacial da erosividade da chuva no estado de Goiás e Distrito Federal**. Embrapa monitoramento por satélite. Campinas – São Paulo, 2015.
42. GOMES, H.; TEIXEIRA NETO, BARBOSA. **Geografia de Goiás/Tocantins**. Centro Editorial e Gráfico. Goiânia, UFG, 2004.
43. IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2022**. 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/22827-censo-demografico-2022.html?edicao=35938>. Acesso em: 05 dez. 2023.

44. IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geociências**. 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. Acesso em: 14 jan. 2023.
45. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. **Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo, Bacia do Peixe - Paranapanema**. Rel. Técnico 24.739, DAEE, São Paulo, 1986.
46. IPT; METAIS DE GOIÁS. **Investigação, caracterização da fenomenologia e diretrizes para o controle corretivo e preventivo de nove feições erosivas lineares e respectivas bacias de contribuição, Bacia do Alto Araguaia, GO/MT. Relatório Técnico**. 1998, 90p.
47. KIRKBY, M.J.; A, Y LE BISSONNAIS; B, COULTHARD, T.J.; DAROUSSIN, J.; MCMAHON, B, M.D The development of land quality indicators for soil degradation by water erosion. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 81, n. 2, p. 125-135, 2000. DOI: 10.1016/S0167-8809(00)00186-9
48. KERTZMAN, F. F.; OLIVEIRA, A. M. S.; SALOMÃO, F. X. T.; GOUVEIA, M. I. F. Mapa de erosão do estado de São Paulo. **Revista Instituto de Geografia**, v.16, n. especial, 1995. DOI: 10.33958/revig.v16iesp.610
49. LACERDA FILHO, J. V. de.; SILVA, A. da.; OLIVEIRA, C. C. de. Arcabouço geotectônico do Estado de Goiás e do Distrito Federal. Programa levantamento geológico básicos do Brasil. In: FILHO, J. V. de L.; SILVA, A. R.; SILVA, A. da. (Org.) **Geologia e Recursos Minerais do Estado de Goiás e do Distrito Federal**. 2ª ed. CPRM/METAGO/UNB. Goiânia-Goiás, 2000.
50. LAL, R. Climate Change and Soil Degradation Mitigation by Sustainable Management of Soils and Other Natural Resources. **Agricultural Research**, v. 1, p. 199–212, 2012. DOI: 10.1007/s40003-012-0031-9
51. LATRUBESSE M. E.; CARVALHO M. T. **Geomorfologia do Estado de Goiás e Distrito Federal**. Goiânia: Secretaria da Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração, 2006. 128 p.
52. MARINHO, G. V.; CASTRO, S. S.; CAMPOS, A. B. de. Hydrology And Gully Processes In The Upper Araguaia River Basin, Central Brazil. **Zeitschrift für Geomorphologie**, 145, p. 119-145, 2006
53. MINELLA, J. P.G. & MERTEN, G.H. Índices topográficos aplicados à modelagem agrícola e ambiental. Revisão Bibliográfica. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.42, n.9, p.1575-1582, 2012
54. MIZIARA, F.; FERREIRA, N C. Expansão da fronteira agrícola e evolução da ocupação e uso do espaço no Estado de Goiás – subsídios à política ambiental. In: GUIMARÃES, L. F. (Org.) **A encruzilhada socioambiental: biodiversidade, economia e sustentabilidade no cerrado**. Goiânia: Editora da UFG, 2008.
55. MIZIARA, Fausto. Expansão de fronteiras e ocupação do espaço no cerrado: o caso de Goiás. In: Guimarães, L. D. A, SILVA, M. A. D, ANACLETO, T. C. (org.). **Natureza Viva Cerrado: caracterização e conservação**. Cap.VII,1.ed. Goiânia: Editora UCG, 2006. 115 p.
56. MOREIRA, M.L.O., MORETON, L.C., ARAÚJO, V.A., LACERDA FILHO, J.V.; COSTA, H.F. **Geologia do Estado de Goiás e Distrito Federal**. Goiânia: CPRM/SIC - FUNMINERAL, 2008. 143 p.
57. MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation. Third edition**. Blackwell publishing. Oxford U. K. 2005. 316p.
58. NASCIMENTO, M. A. L. S. Erosões Urbanas em Goiânia. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 14, n., p. 77-101, 1994
59. NEWMAN, D. R.; LINDSAY, J. B.; COCKBURN. **Evaluating metrics of local topographic position for multiscale geomorphometric analysis**. *Geomorphology*. 2018, p.40-50.
60. NUNES, E.D. **Modelagem de Processos Erosivos no Município de Mineiros – GO**. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.
61. NUNES, E. D.; CASTRO, S. S. de. Compartimentação morfoedológica aplicada à distribuição de padrões espaciais de processos erosivos em solos frágeis – Município de Mineiros, GO. In: CASTRO, S. S. de. HERNANI, L. C. (Org.) **Solos Frágeis: caracterização, manejo e sustentabilidade**. Brasília: Embrapa, 2015.
62. NUNES, E. D.; CASTRO, S. S. Análise multiescalar aplicada à avaliação de erosão hídrica linear para área tropical subúmida situada na região Sudoeste do estado de Goiás - Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 24, n. 00, 2023. DOI: 10.20502/rbgeomorfologia.v24i00.2368.
63. OLIVEIRA, V. A. de. Estado de Goiás e Distrito Federal - Pedologia. **Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2014**.
64. PONCIANO, T. A. Dinâmica da estrutura da paisagem na microrregião do vão do Paranã (GO). **Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017**.
65. PONCIANO, T. A.; RODRIGUES, H. S. M. de.; FARIA, K. M.; **Abordagem morfoedológica para avaliação histórica da estrutura da paisagem no Vão do Paranã (GO)**. *Ateliê Geográfico*, v13, n.2. Goiânia, 2019, p. 111-127.
66. PRUSKI, F. F. **Conservação do solo e água: práticas mecânicas para controle da erosão hídrica**. 2º ed, UFV. Viçosa, 2009.
67. REATTO, A.; CORREIA, J. R. SPERA, S. T.; MARTINS, E. de S. Solos do bioma Cerrado aspectos pedológicos. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de.; RIBEIRO, J. F. (Org) **Cerrado ecologia e flora**. Brasília: Embrapa. 2008.

68. RODRIGUES, H. S. M. C. **Análise geoespacial do processo erosivo hídrico linear no estado de Goiás e Distrito Federal. 2020.** Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2020. 183 p.
69. ROSA, E.R.; ZANCOPÉ, M.H. de C.; BAYER, M. Caracterizado litológico-geomorfológica da área do sistema fluvio cárstico do Parque Estadual "Terra Ronca", Nordeste de Goiás: resultados preliminares. Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. **Anais...** Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada Teresina-Piauí, 2015.
70. SALES, M. M.; NASCIMENTO, M. A. L. S. do. Erosões urbanas em Goiânia – cadastramento e diagnóstico. In: CARVALHO, J. C. de.; CAMPOS, I. C. de O.; SOUZA, N. M. de.; AGUIAR, C. S. de.; FARIAS, R. de J. da C. (Org.) **I Simpósio sobre solos tropicais e processos erosivos no Centro-Oeste.** Universidade Federal de Goiás, Brasília, 2003.
71. SALOMÃO, F. X. de T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T.; SLIVA, A. S. da.; BOTELHO, R. G. M. (Org.) **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações.** Bertrand Brasil. Rio de Janeiro, 2015.
72. SANO, E. E.; DAMBRÓS, L. A.; OLIVEIRA, G. C. de.; BRITES, R. S. Padrões de Cobertura de Solos do Estado de Goiás. In: FERREIRA JÚNIOR, L. G. (Org.) **A encruzilhada socioambiental: biodiversidade, economia e sustentabilidade no Cerrado.** Goiânia: Editora da UFG, 2008.
73. SANTANA, M. P.; CASTRO, S. S.; STONE, L. F.; SILVA, S. C. Chuvas, erosividade, erodibilidade, uso do solo e suas relações com focos erosivos lineares na alta bacia do rio Araguaia. **Sociedade e Natureza**, v. 19, n. 2, p. 103-121, 2007. DOI: 10.1590/S1982-45132007000200007.
74. SANTOS, R. M. M. **Caracterização Geotécnica e Análise do Processo Evolutivo das Erosões no Município de Goiânia.** Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, 1997
75. SANTOS, S. A. Análise de suscetibilidade e potencial à erosão laminar da área de preservação ambiental das nascentes do rio Vermelho. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2015. João Pessoa – Paraíba. **Anais...** João Pessoa: UFPB. 2015.
76. SCOPEL, I.; SILVA, M. R. Erodibilidade no estado de Goiás. **Uniciências**, v.8, n.1 e 2, p. 129-140, 2001.
77. SILVA, E. B. da.; FERREIRA JÚNIOR, L. G.; ANJOS, A. G.; MIZIARA, F. A expansão da fronteira agrícola e a mudança de uso e cobertura da terra no centro-sul de Goiás, entre 1975 e 2010. **Ateliê Geográfico**, v. 7, n.2, p.116-138, 2013.
78. SILVA, A. F. da.; PEREIRA, M. J. CARNEIRO, J. D.; ZIMBACK, C. R. L. LANDIM, P. M. B.; SOARES, A. Mapeamento de solo por simulação sequencial e escalonamento multidimensional. In: Simpósio de Geoestatística Aplicada em Ciências Agrária. Botucatu. **Anais...** Botucatu: UNESP. 2013.
79. SILVA, S. C. da.; SANTANA, N.M. P. de.; PELEGRINI, J. C. **Caracterização Climática do Estado de Goiás.** SIC – Superintendência de Geologia e Mineração. Secretaria de Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. Caracterização Climática do Estado de Goiás, 2006.
80. SILVA, S. D. e.; PIETRAFESA, J. P. SANTOS, A. E. A. F. O Cerrado e a produção sucroalcooleira expansão e transferência histórico-geográfica da produção de etanol em Goiás. In: PIETRAFESA, J. P. SILVA, S. D. e. (Org.) **Transformação do Cerrado: Progresso, consumo e natureza.** Goiânia- Goiás: PUC, 2011.
81. SILVA, A. M.; WATANABE, C. H.; ALVARES, C. A. Natural potential for erosion for Brazilian territory. In: Godone, D.; Stanchi, S. (eds.) **Soil erosion studies.** London: IntechOpen, p.3-24, 2011. DOI: 10.5772/23163
82. SILVERMAN, B. W. **Density Estimation for Statistics and Data Analysis.** New York: Chapman and Hall, 1986.
83. SOUZA, C. M. et al. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, p. 2735, 2020. DOI: 10.3390/rs12172735
84. STROOSNIJDER, L. **Measurement of erosion: Is it possible?** Catena, v.64. 2005, p.162-173.
85. TRICART, J., & KILIAN, J. **L'éco-géographie et l'aménagement du milieu naturel.** Paris: Editions Maspéro, 1979.
86. TRINDADE, S. P. ; CASTRO, S. S. . Mudanças no uso e impactos da expansão canavieira sobre solos frágeis no Sudoeste Goiano. In: Castro, S.S; Hernani, R.C. (Org.). **SOLOS FRÁGEIS: Caracterização, Manejo E Sustentabilidade.** 0ed.Rio de Janeiro: Embrapa, 2015, v. , p. 243-270.
87. VELDKAMP, A.; KOK, K.; DE KONING, G. H. J.; SHOORL, J. M.; SONNEVELD, M. P.W.; VERBURG, P. H. **Multi-scale system approaches in agronomic research at the landscape level.** Soil & Tillage Research 58, 2001.
88. VRIELING, A. **Satellite remote sensing for water erosion assessment: a review.** Catena, 65, 2006, p.2-18.



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.