



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE ESTUDOS SOCIOAMBIENTAIS
Programa de Pós-Graduação em Geografia

HELLBIA SAMARA MOREIRA DE CARVALHO RODRIGUES

**ANÁLISE GEOESPACIAL DO PROCESSO EROSIVO HÍDRICO
LINEAR NO ESTADO DE GOIÁS E DISTRITO FEDERAL**

GOIÂNIA
2020



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIO-AMBIENTAIS

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação Tese Outro*: _____

*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

Exemplos: Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

2. Nome completo do autor

Hellbia Samara Moreira De Carvalho Rodrigues

3. Título do trabalho

ANÁLISE GEOESPACIAL DO PROCESSO EROSIVO HÍDRICO LINEAR NO ESTADO DE GOIÁS E DISTRITO FEDERAL

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

- a) consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);
 - b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.
- O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Hellbia Samara Moreira De Carvalho Rodrigues, Discente**, em 10/07/2025, às 09:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ronan Eustaquio Borges, Coordenador de Pós-Graduação**, em 10/07/2025, às 17:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3295045** e o código CRC **7023F156**.

HELLBIA SAMARA MOREIRA DE CARVALHO RODRIGUES

**ANÁLISE GEOESPACIAL DO PROCESSO EROSIVO HÍDRICO
LINEAR NO ESTADO DE GOIÁS E DISTRITO FEDERAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, do Instituto de Estudos Sócioambientais da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Geografia.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Selma Simões de Castro

GOIÂNIA
2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Rodrigues, Hellbia Samara Moreira de Carvalho
ANÁLISE GEOESPACIAL DO PROCESSO EROSIVO HÍDRICO
LINEAR NO ESTADO DE GOIÁS E DISTRITO FEDERAL [manuscrito]
/ Hellbia Samara Moreira de Carvalho Rodrigues. - 2020.
CLXXXI, 181 f.: il.

Orientador: Profa. Dra. Selma Simões Castro.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Goiás, Instituto de
Estudos Socioambientais (Iesa), Programa de Pós-Graduação em
Geografia, Goiânia, 2020.

Bibliografia.

Inclui siglas, mapas, fotografias, abreviaturas, símbolos, gráfico,
tabelas, algoritmos, lista de figuras, lista de tabelas.

1. erosão hídrica linear. 2. ravinas e voçorocas. 3. isodensidades de
focos erosivos. 4. áreas críticas. 5. compartimentação morfopedológica.
I. Castro, Selma Simões, orient. II. Título.

CDU 911



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIO-AMBIENTAIS
ATA DE DEFESA DE TESE

Ata Nº 28 da sessão de Defesa de Tese de Hellbia Samara Moreira De Carvalho Rodrigues que confere o título de Doutora em Geografia, na área de concentração em Natureza e Produção do Espaço.

Aos trinta dias do mês de abril de dois mil e vinte, a partir das 13h30min, através de videoconferência, realizou-se a sessão pública de Defesa de Tese intitulada “ANÁLISE GEOESPACIAL DO PROCESSO EROSMO HÍDRICO LINEAR NO ESTADO DE GOIÁS E DISTRITO FEDERAL”. Os trabalhos foram instalados pela Orientadora, Professora Doutora Selma Simões de Castro (IESA/UFV) com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Doutor Fernando Facciola Kertzman (GEOTEC), membro titular externo; Professora Doutora Laura Fernanda Simões da Silva (UFSCAR), membro titular externo, Professora Doutora Elaine Barbosa da Silva (IESA/UFV), membro titular externo; Professora Doutora Gislaíne Cristina Luiz (IESA/UFV), membro titular interno. Durante a arguição os membros da banca não fizeram sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Tese tendo sido a candidata **aprovada** pelos seus membros. Proclamados os resultados pela Professora Doutora Selma Simões de Castro, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos trinta dias do mês de abril de dois mil e vinte.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Selma Simões de Castro, Usuário Externo**, em 12/05/2020, às 10:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Gislaíne Cristina Luiz, Coordenadora de Pós-Graduação**, em 12/05/2020, às 17:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Elaine Barbosa Da Silva, Professora do Magistério Superior**, em 09/11/2022, às 14:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufv.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código



verificador **1325026** e o código CRC **4B625E06**.

Referência: Processo nº 23070.020658/2020-61

SEI nº 1325026

Dedico a Deus pai todo poderoso por sua infinita bondade, conforto e amparo. Por me proporcionar o mais lindo de todos os sonhos, pela força e resiliência para conquista e ampliação dos meus horizontes na casa mais linda, nosso planeta!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, a quem procuro na minha intimidade, em busca de forças e sabedoria de viver, aprendo sempre em seus ensinamentos formas de percorrer bons caminhos, superar dificuldades, e ser perseverante. Agradeço à Ele imensamente, pelo amparo e cuidados cedidos neste período de realização de sonhos.

Aos meus pais, pessoas honestas e humildes, e mesmo que as vezes distantes mas sempre constantes nas preocupações, no amor e no cuidado. Aos meus irmãos, pelo carinho e por acreditar em mim.

Ao meu esposo Leandro que esteve ao meu lado em mais essa etapa, passando por situações complexas, suportando e superando as grandes dificuldades que tivemos. E ao meu filho Cristhian, que me enche de força e alegria para seguir em frente, seu jeito extrovertido e sincero percorreu muitos momentos de laboratório comigo, foram muitas as vezes que me encontrei cansada e ele me mostrava que eu ainda tinha muita força pra seguir.

À Prof^a. Dr^a. Selma Simões de Castro, mais uma etapa me ensinando, auxiliando em todo o percurso. Ela que me ensinou a pesquisar, confiou e proporcionou um caminho de conhecimento que influenciara em toda a minha carreira profissional. A professora foi generosa e dedicada como sempre. E por tudo eternamente serei grata!

A professora Prof^a. Dr^a. Karla Maria S. de Faria, que acompanha minha trajetória desde a graduação e sempre me ajuda imensamente. A professora Renata Santos Momoli, aos professores Maxmiliano Bayer, Márcio Henrique de Campos Zancopé, Luis Felipe Soares Cherem, e toda a equipe que compõem o Laboratório de Gomorfologia Pedologia e Geografia Física (LABOGEF), em especial ao Técnico Dr^o. Elizon Dias Nunes pela presteza nas dúvidas que suregiram. Aos estagiários (as), colegas de laboratório que colaboraram direta e indiretamente com a pesquisa.

A Prof^a. Dr^a. Juliana Ramalho, pelo apoio e carinho. À Dr^a. Lila pelo cuidado, apoio, carinho e orações. A minha querida amiga Thalyta que acompanha toda minha jornada acadêmica e tanto me deu força e atenção em momentos difíceis. Pelas novas amizades que vieram, Lizandra, Rosane, Rosana e Marcos, sou grata.

Aos meus familiares e a minha madrinha Alessandra e amigos da capoeira que tanto distanciei nesta etapa da minha vida, e mesmo na distância sei que torceram por mim e eu por eles À minha sogra Eleuza pelo auxílio e cuidado nessa jornada. Assim como.

Aos Professores do Instituto de Estudo Sócioambientais pela formação. Aos técnicos administrativos por toda a assistência e presteza em especial à Luana. Agradeço ao pessoal que sempre zela do prédio tratam todos com tanto respeito e atenção.

*“Eu sou aquela mulher
a quem o tempo
muito ensinou.
Ensinou a amar a vida.
Não desistir da luta.
Recomeçar na derrota. (...)
Creio na superação dos erros
e angústias do presente. (...)
Creio nos milagres da ciência
e na descoberta de uma profilaxia
futura dos erros e violências
do presente.
Aprendi que mais vale lutar
do que recolher dinheiro fácil.
(...)”.*

Cora Coralina

RESUMO

A intensa conversão do Cerrado em áreas agrícolas e pecuárias resultantes da expansão da fronteira agrícola, principalmente desde a segunda metade do século passado, induziu a incorporação de suas terras ao sistema produtivo nacional, baseada em modelo agroexportador ancorado em *commodities*, sobretudo associadas ao binômio carne e grãos. Apesar de economicamente bem sucedido, tal processo causou redução de sua área contínua em cerca de 50% e diversos impactos ambientais, como o desmatamento e ocupação de áreas sensíveis acompanhada de desenvolvimento de processos erosivos hídricos. Tais processos, na forma de ravinas e voçorocas, sobretudo de médio e grande porte, vem sendo bastante estudados na região do Sudoeste Goiano, onde dominam fatores favoráveis ao seu desenvolvimento. Contudo, não havia um estudo da distribuição preferencial dos focos erosivos existentes e tampouco dos condicionantes e suas suscetibilidades na escala estadual. A presente tese partiu da hipótese de que o processo erosivo hídrico linear resulta de fatores condicionantes favoráveis relativos ao meio físico e biótico, que lhes atribui uma maior suscetibilidade, e também à discrepância de uso e manejo do solo. O objetivo da tese é analisar a distribuição preferencial dos focos erosivos lineares no estado de Goiás e suas inter-relações com os componentes do meio físico e biótico, com vistas a identificar as áreas críticas e os respectivos atributos indicadores do processo. A estratégia metodológica baseou-se em abordagem geoespacial multiescalar decrescente acompanhada de geocartografia de base física iniciando-se pelo inventário e mapeamento dos focos erosivos com auxílio de sensoriamento remoto e geoprocessamento, utilizando Sistema de Informações Geográficas (SIG). Prosseguiu com a elaboração do mapa de isodensidades dos focos que permitiu a identificação das Áreas Críticas, com maior densidade de focos. A seguir selecionou-se duas áreas das muito críticas, as quais foram analisadas em detalhe quanto à compartimentação morfopedológica, a suscetibilidade erosiva e suas relações com a distribuição dos focos erosivos e os condicionantes do meio físico e biótico, com vistas a identificar as principais causas do processo. Os resultados revelaram 5 Áreas Críticas no Estado, sendo a maior a da região Sudoeste, em que o predomínio de focos situa-se nos compartimentos morfopedológicos sustentados por solos arenosos de elevada erodibilidade, em relevos planos a suave ondulados, com alta suscetibilidade erosiva hídrica e uso predominante com pastagens, embora sem discrepância de uso. Conclui-se que o manejo das áreas suscetíveis não está adequado e é o maior responsável pela ocorrência erosiva nas áreas mais críticas.

Palavras-chave: erosão hídrica linear; ravinas e voçorocas; isodensidades de focos erosivos; áreas críticas; condicionantes; compartimentação morfopedológica; suscetibilidades.

ABSTRACT

The intense conversion of the Cerrado into agricultural and livestock areas resulting from the expansion of the agricultural frontier, especially since the second half of the last century, led to the incorporation of their lands into the national productive system, based on an agro-export model anchored in commodities, especially associated with the binomial meat and grains. Despite being economically successful, this process caused a reduction of its continuous area by about 50% and several environmental impacts, such as deforestation and occupation of sensitive areas accompanied by the development of water erosion processes. Such processes, in the form of ravines and gullies, especially medium and large, have been extensively studied in the Southwest of Goiás, where factors favorable to their development dominate. However, there was no study of the preferential distribution of the existing erosive foci, nor of the conditions and their susceptibilities on the state scale. The present thesis started from the hypothesis that the linear water erosion process results from favorable conditioning factors related to the physical and biotic environment, which gives them greater susceptibility, and also to the discrepancy in land use and management. The objective of the thesis is to analyze the preferential distribution of linear erosive foci in the state of Goiás and its interrelationships with the components of the physical and biotic environment, in order to identify the critical areas and the respective attributes that indicate the process. The methodological strategy was based on a decreasing geospatial multi-scalar approach accompanied by physical-based geocartography, starting with the inventory and mapping of erosive outbreaks (focus) with the aid of remote sensing and geoprocessing, using Geographic Information System (GIS). It's proceeded with the elaboration of the isodensity map of the outbreaks that allowed the identification of Critical Areas, with a greater density of outbreaks. Next, two areas of the most critical ones were selected, which were analyzed in detail regarding the morphopedological compartmentalization, the erosive susceptibility and its relationship with the distribution of the erosive outbreaks and the conditioning factors of the physical and biotic environment, in order to identify the main causes of the process. The results revealed 5 Critical Areas in the State, the largest being in the Southwest region, in which the predominance of outbreaks is located in the morphopedological compartments supported by sandy soils with high erodibility, in flat to smooth undulating reliefs, with high water erosion susceptibility and predominant use with pastures, although without discrepancy in use. It is concluded that the management of susceptible areas is not adequate and is the main responsible for the erosive occurrence in the most critical areas.

Keywords: linear water erosion; gullies; ;gullies isodensities; critical areas; conditioning factors; morphopedological compartmentalization; susceptibilities.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização dos estados de Goiás e Distrito Federal.	20
Figura 2. Alterações específicas por país da erosão média anual do solo.	27
Figura 3. Fases do processo de origem da erosão hídrica linear.	39
Figura 4. Classificação de tipos de voçorocas.	42
Figura 5. Interação entre fatores biofísicos e causas socioeconômicas e políticas sobre a taxa de erosão e severidade da degradação do solo.	50
Figura 6. Fluxograma das etapas sucessivas de aproximação o estudo da erosão.	51
Figura 7. Localização de Goiás com suas cinco mesorregiões e o Distrito Federal.	54
Figura 8. Litotipos de Goiás e Distrito Federal.	58
Figura 9. Arenito do Grupo São Bento/formação Botucatu (tons rosa claro) na base do talude de voçoroca em Mineiros (GO).	59
Figura 10. Esquema das principais classes de Litotipos do estado de Goiás.	60
Figura 11. Gnaisses de Itumbiara (GO).	61
Figura 12. Sedimentos Quartzosos e matéria orgânica em ambiente fluvial do município de Aruanã (GO).	61
Figura 13. Unidades Geomorfológicas do Estado de Goiás e Distrito Federal.	62
Figura 14. Gráfico das Unidades Geomorfológicas do Estado de Goiás.	63
Figura 15. Declividade do Estado de Goiás e Distrito Federal.	64
Figura 16. Rede hidrográfica de Goiás e Distrito Federal.	67
Figura 17. Solos do Estado de Goiás e Distrito Federal. Fonte: Oliveira (2014).	68
Figura 18. Erodibilidade do Estado de Goiás e Distrito Federal.	71
Figura 19. Precipitação Média Anual – Goiás e Distrito Federal.	73
Figura 20. Precipitação Média Anual – Goiás e Distrito Federal.	74
Figura 21. Erosividade de Goiás e Distrito Federal.	76
Figura 22. Uso e cobertura das terras para as áreas de Cerrado - Goiás e Distrito Federal (2016).	77
Figura 23. Gráfico de Uso e cobertura das terras – GO e DF (2016).	78
Figura 24. Fluxograma de levantamento de dados secundários do estado de Goiás e Distrito Federal.	85
Figura 25. Processo de geração de mapas de uso e cobertura das terras e mapas de transição.	89
Figura 26. Fluxograma da análise geoespacial multiescalar da erosão hídrica linear.	90
Figura 27. Esboço da graticula para área de identificação e mapeamento de erosões, 2019.	97
Figura 28. Modelo de erosões identificação e mapeamento.	97
Figura 29. Processo de geração de mapas de uso e cobertura das terras e mapas transição.	100
Figura 30. Focos Erosivos Lineares e Densidade de Focos Erosivos Lineares do estado de Goiás e Distrito Federal, 2016.	112
Figura 31. Densidade de Focos Erosivos Lineares do estado de Goiás e Distrito Federal, 2016.	113
Figura 32. Erodibilidade dos estados de Goiás e Distrito Federal.	121
Figura 33: Mapa preliminar de suscetibilidade a erosão laminar do estado de	125

Goiás e Distrito Federal.	
Figura 34. Gráfico de suscetibilidade a erosão laminar (GO).	126
Figura 35. Gráfico de focos erosivos e classes de uso e cobertura das terras (GO/DF).	128
Figura 36. Gráfico de focos erosivos e classes de uso e cobertura das terras (GO/DF).	129
Figura 37. Áreas Críticas de Focos Erosivos Lineares do estado de Goiás e Distrito Federal.	131
Figura 38. Gráfico do número de focos erosivos das Áreas Muito Críticas.	132
Figura 39. Gráfico do número de focos erosivos das Áreas Críticas.	133
Figura 40. Gráfico do número de focos erosivos das Áreas Moderadamente Críticas.	133
Figura 41. Suscetibilidade a Erosão Hídrica Linear do estado de Goiás e Distrito Federal.	135
Figura 42. Gráfico de suscetibilidade à erosão hídrica linear GO/DF.	138
Figura 43. Gráfico de Correlação do Uso e Vegetação Remanescente 2016 e Suscetibilidade a Erosão Hídrica Linear (GO/DF).	141
Figura 44. Áreas Críticas de Erosão Hídrica Linear– GO/DF.	145
Figura 45. Localização das Áreas Muito Críticas 1e 17 – GO.	145
Figura 46. Atributos de Geologia e Solos da Área Muito Crítica 1 – GO.	146
Figura 47. Atributos Geomorfológicos da Área Muito Crítica 1 - GO.	147
Figura 48. AMC 1 - Compartimentação Morfopedológica e Densidade de focos erosivos – GO.	148
Figura 49. Focos erosivos de cada CMP da AMC 1.	151
Figura 50. Atributos de Geologia e Solos da Área Muito Crítica 17 – GO.	153
Figura 51. Atributos Geomorfológicos da Área Muito Crítica 17 – GO.	154
Figura 52. Compartimentação Morfopedológica e Densidade de Focos Erosivos da AMC 17 – GO..	155
Figura 53. Focos erosivos da AMC 17, do CMP I.	156
Figura 54. Uso ocupação e Remanescentes de Cerrado da Área Muito Crítica 1 (2016).	159
Figura 55. Gráfico Uso ocupação e Remanescentes de Cerrado da Área Muito Crítica 1 (2016).	160
Figura 56. Uso do solo e Remanescentes de Cerrado da AMC 1 e focos erosivos (2016).	161
Figura 57. Uso do solo e Remanescentes de Cerrado da Área Muito Crítica 17 (2016).	162
Figura 58. Uso ocupação e Remanescentes de Cerrado da Área Muito Crítica 17 (2016).	163
Figura 59. Aspectos hidrológicos da Área Muito Crítica 1.	164
Figura 60. Aspectos hidrológicos da AMC 17.	165

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Litotipos do estado de Goiás.	57
Tabela 2. Declividade do estado de Goiás e Distrito Federal.	64
Tabela 3. Cálculo de Densidade Hidrográfica.	65
Tabela 4. Solos de Goiás e Distrito Federal.	68
Tabela 5. Matriz de correlação de aspectos de suscetibilidade a erosão hídrica e áreas de Goiás e Distrito Federal.	80
Tabela 6. Erodibilidade do estado de Goiás e Distrito Federal.	120
Tabela 7. ACM1: atributos dos CMPs - área, número e densidade de focos.	149
Tabela 8. Síntese dos indicadores geoambientais e de uso dos solos na ACM 1.	152
Tabela 9. Síntese dos indicadores geoambientais e de uso dos solos na ACM 17.	156

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Classes de Erodibilidade.	91
Quadro 2. Classes de suscetibilidade à erosão laminar.	91
Quadro 3. Critérios de identificação dos focos erosivos.	92
Quadro 4. Identificação de erosão nas duas resoluções 1:15.000 e 1: 8.000.	95
Quadro 5. Chave de interpretação para identificação e mapeamento de focos de erosões.	97
Quadro 6. Roteiro metodológico de elaboração do Mapa de Suscetibilidade erosiva linear.	99
Quadro 7. Dados e classificações que compõem a matriz para elaboração da suscetibilidade à erosão linear.	101
Quadro 8. Matriz de Reclassificação dos dados <i>Raster</i>	102
Quadro 9. Exemplo de interpretação por correspondência atribuída ao polígono (5425).	103
Quadro 10. Descrição da métrica de paisagem de acordo com sua categoria.	108
Quadro 11. Categorias, elementos, descritores e indicadores de erosão hídrica linear adotados com os respectivos pesos	109

INTRODUÇÃO	18
CAPÍTULO 1 – O PROBLEMA EROSIVO HÍDRICO LINEAR EM GOIÁS	26
CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEÓRICO DA PESQUISA	36
2.1. Erosão hídrica: Base conceitual	36
2.2. Erosão hídrica linear: Sulcos, ravinas e voçorocas	40
2.3. Condicionantes e suscetibilidade à erosão hídrica	43
2.4. Erosão hídrica: Escalas e métodos de estudo	47
CAPÍTULO 3 – O ESTADO DE GOIÁS E DISTRITO FEDERAL E OS CONDICIONANTES EROSIVOS	53
3.1. Aspectos Físicos	53
3.1.1. Localização e breve histórico da ocupação	53
3.1.2. Geologia	56
3.1.3. Geomorfologia	62
3.1.4. Hidrologia e hidrografia	65
3.1.5. Pedologia	67
3.1.6. Erodibilidade	70
3.1.7. Clima	72
3.1.8. Erosividade	75
3.2. Uso e cobertura das terras de Goiás e Distrito Federal	76
3.3. O potencial erosivo hídrico do estado de Goiás: Uma discussão preliminar	79
CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA DA PESQUISA	82
4.1. Fundamentos Metodológicos da Investigação	82
A - ESCALA ESTADUAL	85
4.2. Elaboração dos Mapas Temáticos Básicos	85
4.2.1. Mapa base	86
4.2.2. Mapas temáticos básicos	86
4.2.2.1. Geologia	86
4.2.2.2. Geomorfologia	87
4.2.2.3. Solos	87
4.2.2.4. Erodibilidade	87
4.2.2.5. Drenagem	87
4.2.2.6. Clima	88
4.2.2.7. Erosividade	88
4.2.2.8. Uso e cobertura das terras de Goiás e Distrito Federal	88
4.2.2.9. Elaboração da matriz de correlação dos aspectos de suscetibilidade à erosão hídrica para o estado de Goiás e Distrito Federal	89
4.3. Elaboração dos Mapas de Síntese	89
4.3.1. Mapa da erodibilidade	90
4.3.2. Mapa preliminar de suscetibilidade à erosão laminar	91
4.3.3. Mapa dos focos erosivos lineares	92
4.3.4. Definição da chave de interpretação dos focos erosivos	96
4.3.5. Distribuição e densidade dos focos erosivos	98
4.3.6. Elaboração do mapa de suscetibilidade à erosão hídrica linear	98
B - ESCALA LOCAL	104
4.4. Estudo Detalhado das Áreas Críticas	104
4.4.1. Densidade dos focos erosivos e critérios de delimitação das áreas críticas	104
4.4.2. Compartimentação morfopedológica e focos erosivos	104
4.4.3. Elaboração do mapa de erodibilidade e cruzamento com os focos	106

erosivos	
4.4.4. Elaboração do mapa de suscetibilidade à erosão laminar	107
4.4.5. Elaboração do mapa das linhas de fluxo das terras e cruzamento	
com os focos erosivos	107
4.4.6. Compilação e interpretação do mapa de uso e cobertura das	
Terras	107
4.4.7. Extração das métricas da paisagem da fragmentação da cobertura	
das terras das áreas críticas	108
4.4.8. Definição das classes de suscetibilidade à erosão linear e	
elaboração do mapa para as áreas críticas.	108
4.4.9 Indicadores e Parâmetros erosivos hídricos	109
4.4.10 Análise dos Resultados	110
CAPÍTULO 5 – DISTRIBUIÇÃO DE FOCOS EROSIVOS E	
CONDICIONANTES DA EROSÃO HÍDRICA LINEAR NA ESCALA	
ESTADUAL	111
5.1. Distribuição e Densidade de Focos Erosivos	111
5.2. Condicionantes dos processos erosivos	119
5.2.1. Erodibilidade e relações com substrato e relevo	119
5.2.2. A suscetibilidade à erosão laminar e suas relações com relevo e	
solos	123
5.2.3. Uso e cobertura das terras e sua relação com os focos erosivos	126
5.3. Áreas Críticas: Identificação e Caracterização Geral	130
5.4. Suscetibilidade a Erosão Hídrica Linear	134
CAPÍTULO 6 – DISTRIBUIÇÃO DE FOCOS EROSIVOS E	
CONDICIONANTES DA EROSÃO HÍDRICA DAS ÁREAS CRÍTICAS	144
6.1. Área Muito Crítica 1 (AMC 1)	146
6.2. Área Muito Crítica 2 (AMC 17)	153
6.3. Uso das Terras e Fragmentação da Cobertura Vegetal e Focos Erosivos	157
6.4. Caracterização Morfométrica e Focos Erosivos	164
6.5. Indicadores Condicionantes da Ocorrência de Processos Erosivos nas	
Áreas Muito Críticas	165
CONCLUSÕES	168
REFERÊNCIAS	171

INTRODUÇÃO

Os efeitos das mudanças na cobertura e uso do solo vêm sendo uma questão cada vez mais estudada em diferentes escalas, da global à local, pelo fato do solo ser um recurso natural indispensável para produção de alimentos e conservação ambiental, dentre outros. Apesar da sua importância, 33% dos solos do planeta já se encontram degradados, devido uso e ocupação inadequados, com efeitos deletérios que põem em risco a segurança alimentar (FAO, 2015; PENNOCK, 2019). A perda de solo em contexto geral, nas áreas agrícolas é de 10 a 40 vezes mais rápido do que a taxa de formação do solo, e a cada ano, cerca de 10 milhões de hectares de terras cultiváveis são perdidos devido à erosão do solo (PIMENTEL; BURGESS, 2013).

A erosão hídrica linear é considerada um tipo de degradação do solo severa. Valentin; Poesen; Yong, (2005) advertem que a erosão hídrica linear não é um processo limitado a terrenos acidentados de regiões montanhosas, mas uma séria degradação que atinge todo o globo terrestre afetando uma ampla variedade de solos. Um problema que irá se estender por todo o século XXI, com destaque para os países em desenvolvimento (DEPARTS et al., 2013)

Um dos principais fatores de degradação dos solos é a erosão acelerada, comumente interpretada como resultante das atividades humanas de uso e ocupação, ou manejo inadequado, esse tipo de erosão é também classificado como erosão hídrica, a qual é causada pelo escoamento difuso ou concentrado da água das chuvas em áreas cultivadas, e que se manifesta mediante certas condições ambientais favoráveis, em particular relacionadas aos tipos de solos e relevo. Habitualmente, é muito mais intensa que a erosão normal ou geológica, que ocorre nos ambientes naturais, não alterados pelo homem (POLITANO e PIÇARRA, 2005), especialmente em países em desenvolvimento situados nos trópicos e subtropicais (LABRIÈRE et al, 2013), onde também é conhecida como erosão hídrica ou hidropluvial.

Países em desenvolvimento são apontados em estudos científicos como áreas de especial atenção dada a perda de cobertura vegetal do solo, associada a práticas agrícolas muitas vezes inadequadas aos tipos de usos e manejos, comprometendo a proteção do solo e concentrando as maiores taxas de erosão do solo (PIMENTEL e BURGESS, 2013; FAO, 2015; BORRELLI et al., 2017; PENNOCK, 2019). Os estudos tem revelado que a erosão elimina de 25 a 40 bilhões de toneladas de solos por ano em todo o mundo, o que significa uma redução de 7,9 milhões de toneladas de cereais por ano, além de uma redução

significativa da capacidade de armazenar carbono, nutrientes e água no solo, comprometendo seus ciclos naturais (LAL, 2001; FAO, 2015; PENNOCK, 2019).

A forma de ocupação histórica do uso agrícola no Brasil como um todo promoveu intensas mudanças no cenário brasileiro de modo acelerado, sobretudo desde meados do século passado (MANZATTO et al., 2002). Neste, o bioma Cerrado foi priorizado, porém sem deixar de promover impactos, e sobre isso os estudos vem revelando que a erosão hídrica acelerada afetou áreas desmatadas e convertidas sobretudo em pastos, causando uma grande preocupação. Assim, o custo ambiental, que se iniciou pela perda de sua biodiversidade e de vários ecossistemas devido conversão agropecuária seguiu-se da geração de passivos ambientais (BRASIL, 2014), e foi acrescido de outros processos, como os erosivos, tanto *on-site* como *off-site* (TELLES e GUIMARÃES, 2009; LAL, 2012), além de assoreamento e de contaminação. Segundo Telles e Guimarães, (2009).

A erosão hídrica do solo provoca efeitos negativos tanto dentro (*on-site*) quanto fora (*off-site*) da unidade produtiva e esses efeitos podem ter consequências econômicas relevantes para os produtores e para a sociedade. Os custos *on-site*, por ocorrerem no interior da unidade produtiva, geram um custo direto ao produtor e indireto à sociedade, que podem se ver, no futuro, sem o recurso natural (solo) necessário para a produção de alimentos. E os custos *off-site* vão gerar externalidades, em relação à propriedade agrícola, que irão incidir diretamente em custos sociais e ambientais. (TELLES e GUIMARÃES, 2009, p.3)

Castro et al., (2010) destacam a necessidade de pesquisar e entender os impactos das mudanças antrópicas causais das alterações das paisagens induzidas pelas mudanças de uso dos solos, sobretudo as intensas e indiscriminadas, como é o caso da erosão, compactação dos solos, contaminação dos recursos hídricos, e da disputa por terras e outros impactos socioambientais decorrentes, que promoveram reconfigurações locais, regionais e mesmo nacionais.

A grande conversão de terras desse bioma em área de atividade agropecuária promovida pela expansão da fronteira agrícola, favorecida por numerosos programas específicos, induziram a incorporação de suas terras ao sistema produtivo, causou perda de cerca de 50% de sua área contínua (HOGAN et al, 2002 a,b), sobretudo sua porção Centro-Sul (PROBIO, 2007), e de numerosas espécies remanescentes, o que levou a situá-lo como um dos 34 *hotspots* da biodiversidade do planeta (CI, 2005). Este processo, embora tenha desacelerado nas últimas duas décadas, vem novamente sendo alvo de novas mudanças do uso do solo, devido à recente expansão da monocultura da cana de açúcar, que tem como área alvo

justamente o Centro-Sul do Cerrado, já convertido em pastos e áreas de cultivo de grãos (PROBIO, 2007; CASTRO e QUEIROZ NETO, 2010; TERRACLASS, 2013; MAPBIOMAS, 2019).

O estado de Goiás, incluindo o Distrito Federal, situa-se na porção central do Brasil, por sua vez posicionado no centro-sul do bioma Cerrado (Figura 1), e é representativo desse processo, tendo passado por intensas transformações de suas paisagens, induzidas pelas mudanças de uso e ocupação, sobretudo em consequência da modernização da agricultura e consequente expansão das áreas plantadas resultantes da expansão da fronteira agrícola (KAGEYIAMA et al, 1990). Atualmente, com a recente expansão da monocultura da cana-de-açúcar, além da disputa por terras entre cana e pastos e outras culturas, em particular com a soja, o estado de Goiás assiste a uma espécie de reforço do modelo agroexportador (CASTRO et al., 2010; CASTRO e ABDALA, 2010; RODRIGUES e CASTRO, 2015).

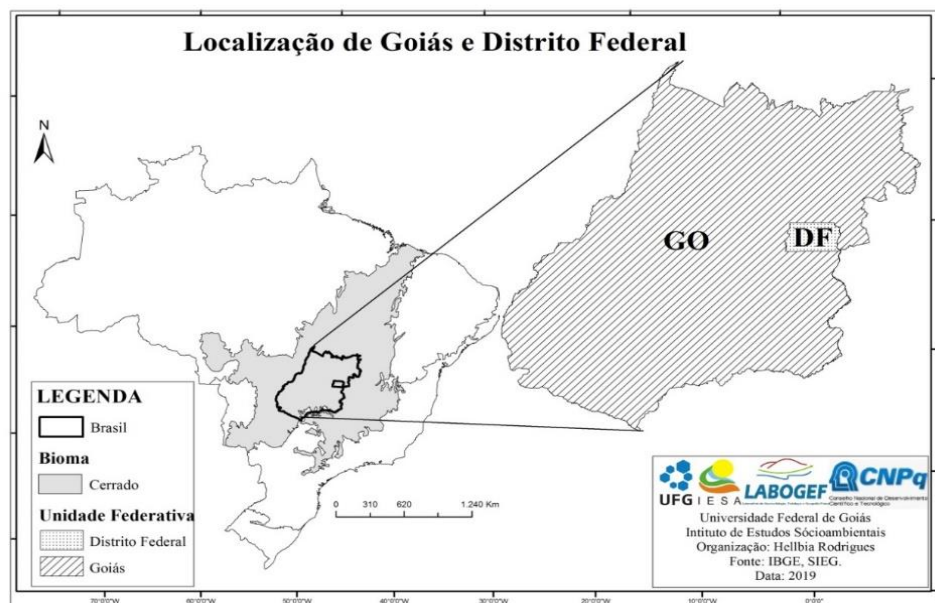


Figura 1. Localização dos estados de Goiás e Distrito Federal.

Tal localização é apontada como um fator de grande responsabilidade para os gestores do estado de Goiás por favorecer a conexão com a maioria dos estados brasileiros (GOIÁS, 2003). Por outro lado, seu relevo majoritariamente plano a suave ondulado, correspondente às principais unidades de superfícies regionais de aplainamento, com altitudes que variam de 400 a 1.000 metros, desenvolvidas sobre um mosaico geológico diversificado (LATRUBESSE e CARVALHO, 2006), produzem características de paisagem que favorecem a ocorrência de grandes e contínuas áreas aptas às atividades agropecuárias por suas características pedológicas, sobretudo a presença dominante de Latossolos profundos e bem drenados.

Observando ainda que o estado de Goiás abriga uma vasta e importante rede hidrográfica, como as Regiões Hidrográficas do Tocantins, Paraná e do São Francisco, que associadas ao clima tropical subúmido (com duas estações alternadas e contrastadas - primavera-verão chuvoso e outono-inverno seco), favorecem a produção de grãos e pastos plantados, além de cana-de-açúcar, razão pela qual tenham contribuído fortemente para a consolidação do binômio carne/grãos.

Em particular, esse processo intensivo de conversão de uso solo do estado de Goiás não se fez sem um custo ambiental, a começar pela perda de sua biodiversidade e de vários ecossistemas em consequência do avanço da agropecuária (HOGAN et al, 2002 a; MIZZIARA, 2006; BRASIL, 2014). Outros processos como os erosivos, de assoreamento e de contaminação, acompanharam essa dinâmica (CASTRO, 2010). Diante desse contexto, destaca-se a necessidade de pesquisar e entender os impactos das mudanças antrópicas na paisagem. No presente caso, das promovidas pela erosão, especificamente a erosão hídrica linear, usualmente classificada em formas de sulcos, ravinas e voçorocas, que decorrem, na maioria das vezes, de mudanças na cobertura e uso do solo (CARVALHO et al., 2006).

Em muitas regiões do mundo a erosão do solo continua a ser uma grande ameaça, mesmo diante de décadas de pesquisas científicas e preocupação social. Em particular, a erosão hídrica tem sido a mais amplamente estudada e a que sem dúvida afeta a maior área de terra, seja na forma laminar como linear (PENNOCK, 2019).

Convém observar que a erosão hídrica linear é apontada como um impacto que interfere na conservação das terras, por ser o solo um recurso que demanda um longo período de tempo para formação e recuperação. Nos sistemas agrícolas tropicais atuais há uma intensificação da produção, do uso de tecnologia e de insumos aplicados aos solos. Mas, essa tendência nas regiões tropicais em desenvolvimento veio acarretando erosão nas últimas décadas, afetando a produtividade das culturas, a qual nem sempre foi detectada em curto prazo, senão em longo prazo. E também que a taxa de erosão em agrossistemas tropicais em geral são maiores que as taxas de formação dos solos (SPAROVEK; SCHNUG, 2001).

Um levantamento bibliográfico sobre erosão hídrica acelerada sobre o Brasil (BARRETO; BARROS; SPAROVECK, 2008) identificou, dentre outros aspectos, o predomínio de estudos sobre erosão laminar envolvendo a Equação Universal de Perdas de Solos (denominadas internacionalmente de USLE, ou subsequentes) e alguns outros modelos mais concentrados entre 1980 e 2000, como o WEPP –Water Erosion Prediction Project. E Scopel (1998) ressalta que com o avanço tecnológico surgiu a possibilidade de ampliar os estudos de erosão com o uso de técnicas de sensoriamento remoto (SR), por meio de imagens

de satélite que possibilitam a identificação tanto da feição erosiva em si, como de áreas de solos degradados e suscetíveis ao processo erosivo. Em especial, o uso do SR de alta resolução para medir a erosão pode fornecer medições diretas, bem como medições para modelos de erosão. Stroonsnijder, (2005) afirma que isso pode ser feito de diversas formas, com interpretação visual de superfícies erodidas, ou identificação automática, ou aplicação da relação empírica entre erosão e reflexão sobre os condicionantes, para uma melhor interpretação.

A erosão linear é menos estudada, mas quando é, geralmente se dá em estudos de caso, localizados, pontualmente. No estado de Goiás, estudos desenvolvidos por Barbalho, (2002), Castro et al., (2004), Santana e Castro, (2006), Nunes, (2015), Barbalho e Castro (2013) e Nunes e Castro (2015), dentre outros, sobre a região Sul e Sudoeste do estado de Goiás, na alta bacia do rio Araguaia, são exemplos recentes. Os autores identificaram um elevado número de focos erosivos, concentradamente sobre solos arenosos derivados de arenitos e associados aos usos e manejos inadequados das terras (pastagens) e apontam uma convergência de fatores condicionantes, no contexto de solos ditos frágeis (ALBUQUERQUE et al., 2015). Nunes (2015), em especial, aprofundou o estudo na região Sudoeste com base em modelo de base física, determinando os parâmetros específicos da morfometria do relevo, tais como curvaturas negativas, rampas longas, rupturas negativas de declive e cabeceiras de drenagem.

Sobre erosão hídrica em áreas urbanas do Estado, incluindo o Distrito Federal, Goiânia, Aparecida de Goiânia, Brasília e outras cidades, os estudos são mais numerosos, mas igualmente tratada como erosão acelerada, linear e resultante igualmente do uso e ocupação urbana irregular dos terrenos, induzindo concentração dos fluxos hidrológicos, como recentemente identificou Cavalcanti (2019) ao estudar o processo erosivo de Goiânia (GO).

A erosão, especificamente a erosão hídrica linear, é causada pela concentração de fluxos hídricos associados à pluviosidade, podendo ser classificada em sulcos, ravinas e voçorocas, e internacionalmente conhecida como *gully erosion* (IPT, 1986; MORGAN, 2005; BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010; SALOMÃO, 2015). Na maioria das vezes, decorre de mudanças de uso e manejo do solo em presença de cobertura vegetal remanescente (CARVALHO et al., 2006). Como exemplo do Cerrado, entre os estudos desenvolvidos por Baccaro (1999) no Triângulo Mineiro (MG) e mais especificamente por Salomão (2015) para São Paulo, Nunes (2015) e Nunes e Castro (2012), Barbalho e Castro (2011), estes últimos, para o Sul e Sudoeste goianos, em particular a Alta Bacia do rio Araguaia, além de apontarem para a convergência da suscetibilidade dos solos e risco resultante do seu uso e manejo

inadequados, historicamente também os associaram à expansão da fronteira agrícola, quando ocorreu desmatamento intensivo e indiscriminado e ausência ou má utilização de práticas conservacionistas (CASTRO, 2005).

Apesar da dinâmica econômica e inserção da economia do estado de Goiás no cenário nacional e global, só mais recentemente é que estudos mais detalhados vêm sendo desenvolvidos e divulgados sobre suas características ambientais, o que tem permitido melhorar a avaliação do status de sua degradação ambiental (CASTRO e HERNANI, 2015).

A disponibilidade de dados como o mapa geológico (CPRM, 2000) e hidrológico (CPRM, 2000), já se pode contar com o de erodibilidade (SCOPEL et al., 2001, o geomorfológico (LATRUBESSE; CARVALHO, 2006), o de uso do solo (MAPBIOMA, 2016), o de geodiversidade (CPRM, 2008), o de solos (OLIVEIRA, 2013), o de aptidão agrícola (OLIVEIRA, 2013), e o de vulnerabilidade ambiental (WWF, 2004; GOIÁS, 2014), na maioria disponíveis no Sistema de Informações Geográficas do Estado de Goiás (SIEG), constituem-se em dados importantes para subsidiar tanto o estudo como a intervenção na gestão do território goiano.

Em síntese, um território amplamente utilizado para produção agropecuária, tendo o recurso solo como um dos fundamentais, traz consigo a questão da degradação por erosão hídrica linear, como uma problemática constantemente levantada por pesquisadores no tanto para o estado de Goiás como Distrito Federal, não há ainda um estudo amplo, multiescalar, que apresente um modelo dos principais condicionantes do processo, que identifique, delimite e tipifique as áreas críticas de erosão em seu território, tido como parte significativa de celeiro do mundo. Já é salientado que transpor as estimativas globais de erosão para escalas locais não é fácil, pois que a erosão do solo é altamente variável, tanto no tempo quanto no espaço (FAO, 2015). E tanto essa variação como a problemática de extrapolar dados de pequenas parcelas para escalas mais abrangentes são pontos vistos como desvantagens, seja para o controle do processo, ou para determinar sua magnitude (STROONSNIJADER, 2005). Deprats, et. al., (2013) afirmam que tanto o mapeamento como o monitoramento de características de erosão linear em grandes áreas é fundamental para a compreensão dos processos e para planejar medidas de proteção adequadas.

Contudo, apesar do estado de Goiás possuir o referido e recente mapa de Vulnerabilidade Ambiental (GOIÁS, 2014), ainda não há mapeamento das áreas degradadas com sua tipologia, tampouco do potencial de produção de sedimentos, de suscetibilidade e risco erosivo linear e de focos de erosão hídrica linear, os quais permitiriam detectar e

delimitar as áreas de maior criticidade e produzir modelos explicativos do fenômeno, os quais seriam de grande utilidade na elaboração de políticas públicas de uso e ocupação territorial.

Assim, algumas questões científicas nortearam o desenvolvimento da pesquisa sobre a erosão hídrica no estado de Goiás, elencadas na pesquisa vinculada à presente tese:

- Como se distribuem os focos erosivos lineares no estado de Goiás?
- Quais os condicionantes dessa distribuição?
- O uso do solo estão relacionadas ao processo erosivo?
- Quais os cenários atuais das áreas de ocorrência de feições erosivas?

Para responde-las e realizar a investigação, a hipótese pensada baseou-se na revisão da literatura e visitas técnicas preliminares a campo, além da participação em trabalhos anteriores. Nesse sentido, a hipótese é de que as causas do surgimento e da distribuição das feições erosivas hídricas lineares no estado de Goiás e Distrito Federal resultam, simultaneamente, da intrínseca relação entre as características morfopedológicas da paisagem, produto da combinação entre substrato geológico, relevo e solos e a discrepância dos usos e manejos dos solos nessas áreas em relação à sua aptidão agrícola.

Trata-se de uma investigação que, metodologicamente, enquadra-se numa modelagem da sua distribuição espacial, baseada numa abordagem geoespacial do fenômeno, de modo a estabelecer as relações entre os atributos considerados condicionantes e identificar os padrões de sua instalação e desenvolvimento. Assim, os condicionantes do processo erosivo foram tratados com base em análise multiescalar, ancorada nos princípios da modelagem de base física, a qual considera as variáveis do meio físico e biótico envolvidas no processo (NUNES, 2015). No presente caso, sem experimentação ou monitoramento do fenômeno em campo ou com auxílio de geotecnologias, dado que foi considerado apenas o tempo atual.

Assim, a investigação da presente tese partiu do inventário da situação atual, por meio da elaboração do mapa de focos erosivos lineares na escala de trabalho 1:15.000, e prosseguiu-se com as análises dos condicionantes do processo indicados na literatura especializada e os respectivos intercruzamentos, de modo a identificar áreas de maior criticidade, onde se aprofundaram os estudos, também geoespaciais, de modo a contribuir para a elucidação das causas do fenômeno.

A presente tese está estruturada em 5 capítulos após esta Introdução. O primeiro trata do problema erosivo hídrico linear em Goiás, em que se destacam o problema central da investigação com base nos estudos que indicaram os principais condicionantes do processo. O

segundo apresenta o referencial teórico geral da pesquisa, em que se destacam os conceitos, tipos e fatores condicionantes e já amplamente consagrados do processo erosivo hídrico, bem como as abordagens e métodos de estudo. O terceiro apresenta os condicionantes erosivos relativos ao meio físico e biótico do estado de Goiás, este com ênfase no uso do solo e a cobertura vegetal remanescente. O quarto apresenta a metodologia de pesquisa, em que são enfatizados os dois níveis de investigação do problema, o estadual e o local, este relativo às áreas que se revelaram mais críticas quanto à densidade ou concentração de focos erosivos lineares de médio e grande porte mapeados, seguidos dos procedimentos operacionais. Nestes, foram ressaltados fundamentalmente os procedimentos geocartográficos com base em geotecnologias, com ênfase em geoprocessamento e sensoriamento remoto de imagens de satélite em diferentes escalas e em Sistema Geográficos de Informação (SIG). O quinto apresenta os resultados da investigação propriamente dita, em que a distribuição dos focos erosivos lineares dá início ao capítulo, seguindo-se principalmente da avaliação da erodibilidade, da suscetibilidade erosiva, do uso e respectivas inter-relações, finalizado com a apresentação dos critérios para seleção das áreas críticas e respectiva análise geoespacial, a seleção das mais críticas para avaliação em detalhe em termos de suas suscetibilidades e discrepâncias de uso e aspectos físicos, conduzindo ao elenco dos parâmetros causais do processo. O sexto e último trata do estudo das áreas críticas dentre as quais foram selecionadas duas mais críticas representativas da alta densidade de focos, mas que se localizam em ambientes distantes e distintos, as quais foram estudadas em escala de detalhe visando identificar os parâmetros ambientais do fenômeno. Nestas efetuou-se a compartimentação morfopedológica e, mediante análise aprofundada dos aspectos físico-naturais, assim como da correlação com o uso ocupação e remanescentes, que permitiram reconhecer os compartimentos mais afetados e seus padrões físicos, de maneira a identificar os principais indicadores de ocorrência dos processos erosivo hídrico. O volume se encerra com a apresentação das conclusões da pesquisa.

CAPÍTULO 1

O PROBLEMA EROSIVO HÍDRICO LINEAR EM GOIÁS

A temática de erosão traz consigo a necessidade de abordar o principal recurso ligado a essa degradação, o recurso solo. A função do solo no ambiente é fundamental dentro da interação e interdependência que o ambiente possui de seus recursos, pois o solo é um recurso básico e seu uso prudente é importante para as demandas de alimentação da população mundial. Processos relacionados à perda severa do solo por erosão podem afetar todo o ecossistema, pois, o solo possui muitas funções que interferem na qualidade ambiental, na área urbana e industrial, na qualidade da água e, por conseguinte, influenciam e são influenciados pelas mudanças globais (BLANCO; LAL, 2008; FAO, 2015).

A erosão hídrica é o tipo de erosão mais estudado e a que afeta uma maior área no planeta (FAO, 2015; PENNOCK, 2019). A erosão hídrica pode ser natural, também dita geológica ou normal, devido a atributos ambientais que conferem suscetibilidade ao solo, ou induzida pelo uso inadequado do solo, dita antrópica ou acelerada, até mesmo se o solo não é suscetível. A erosão antrópica pode ocorrer devido o desmatamento indiscriminado ao deixar o solo exposto à ação da chuva durante seu preparo anual ou sazonal, seja pelo uso agrícola ou pecuário sem manejo adequado, seja ainda pela impermeabilização dos solos em áreas urbanas, conjugada ao não ao sistema de drenagem urbana, a macrodrenagem, dos canais fluviais, e a microdrenagem, do sistema de galerias pluviais e anexos (TUCCI; PORTO; BARROS, 1995).

Tais fenômenos podem interferir na dinâmica de fluxos das águas (rotas, intensidades e volumes) e promover seu escoamento superficial concentrado, que atrita o solo e o escava, instalando e desenvolvendo processos erosivos hídricos que podem ser iniciados por sulcos, prosseguir como ravinas e evoluir para voçorocas ou começar diretamente como tal. A erosão rompe com o equilíbrio hidrodinâmico do ambiente, associado às mudanças hidráulicas decorrentes da transformação da paisagem por mudanças no uso e ocupação do solo (ALMEIDA FILHO; RIDENTE JÚNIOR, 2001).

A FAO (2015), ao trabalhar o recurso solo, considera a erosão como uma das principais ameaças ambientais em escala planetária e cita a América Latina como uma das quatro regiões do planeta onde a erosão está degradando rapidamente os ambientes. Marques (2018) afirma que, nesse cenário de degradação, a pedodiversidade está colapsando numa velocidade comparada à da biodiversidade. Borrelli et al., (2013) fazem uma avaliação do

impacto global das mudanças no uso da terra do século XXI, quanto à erosão do solo, e indicam um potencial aumento geral na erosão global do solo de 2001 a 2012, impulsionada pela expansão das áreas agrícolas como mostra a figura 2. Nesta, na América do Sul domina a maior intensidade de mudanças do solo causadas por esse fenômeno em termos percentuais (Figura 2a) e a menor utilização de práticas conservacionistas (Figura 2b).

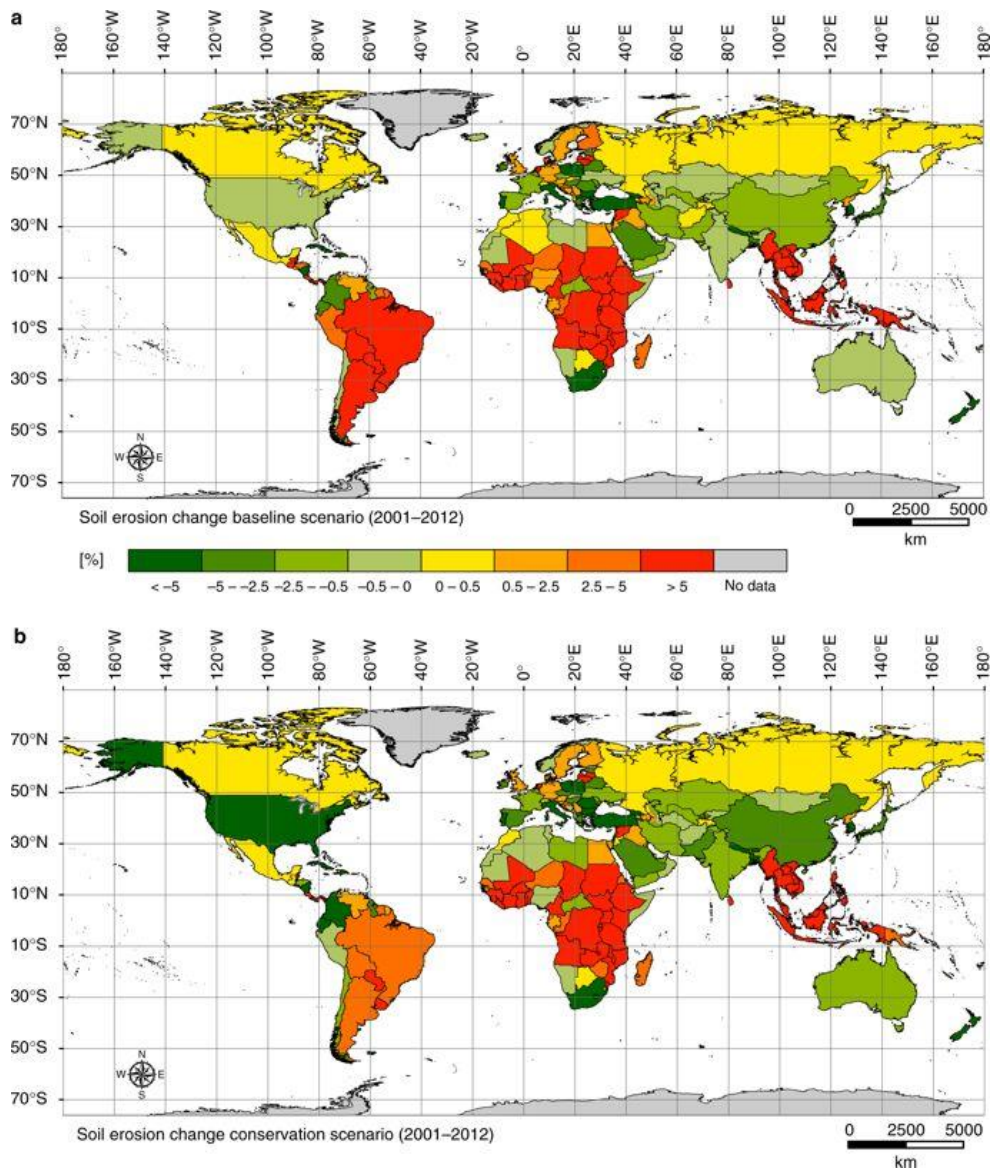


Figura 2. Alterações específicas por país da erosão média anual do solo.
Fonte: Borelli, et al., (2017).

Assim, a América do Sul é um dos principais ambientes do globo onde ocorre erosão de forma crítica, quanto à avaliação da média anual de erosão do solo. Borrelli et al., (2017) ainda associam as economias menos desenvolvidas às estimativas mais altas das taxas de

erosão. E o Brasil, em particular, nela situado e tendo a maior extensão territorial, tem na erosão hídrica uma importante causa de degradação ambiental, dado o clima tropical, de elevadas pluviosidades e taxas de intemperismo químico, que o tornam propício à ocorrência de fenômenos de dissecação do relevo (CAMAPUM, 2006; PRUSKI, 2010). Silva; Alvares; Watanabe (2012), afirmam que o Brasil pratica um uso da terra longe de ser compatível com sua capacidade de uso e pesquisas sobre perda de solo e respectivas taxas de tolerância são altamente necessárias. Talvez seja por essa razão que na bibliometria publicada por Barreto et al, (1998) predominem trabalhos utilizando a (R)USLE, a Equação Universal de Perda de Solos, modelo que permite calcular o potencial de perda de solos.

Assim, o Brasil, em particular por seus recursos naturais e produção de commodities agrícolas, atrai atenção mundial. Silva; Alvares; Watanabe (2012), salientam que é um país detentor de uma grande diversidade de solos, decorrente das interações entre clima, material parental, vegetação e organismos associados, com diferenças regionais marcantes, ainda que dominem Latossolos e Argissolos. É importante observar que mesmo diante do período técnico-científico-informacional (SANTOS, 2004) que caracteriza a contemporaneidade do mundo desenvolvido, o Brasil manteve uma economia baseada na produção primária, que tem os recursos de solo e água como fundamentais ao sistema produtivo.

O Bioma Cerrado que ocupa 23% do território nacional, caracterizado como um dos 34 *hotspots* mundiais da biodiversidade (IC, 2005), é amplamente utilizado para agricultura e pecuária, pois detém condições físico-naturais relevantes que lhe conferem aptidão para produção agropecuária, dita moderna, dado o relevo predominantemente plano a suave ondulado, solos profundos, apesar de ácidos, e disponibilidade hídrica, tanto superficial quanto subterrânea (aquíferos).

O histórico de ocupação e de desenvolvimento do uso neste bioma é representado pela própria história do estado de Goiás e Distrito Federal, sobretudo desde meados do século XX, que propiciaram uma maior articulação do Cerrado e do estado de Goiás com o centro mais dinâmico do país, o Sudeste (GOMES e TEIXEIRA NETO, 1993; ESTEVAM, 2004). No século XX essa dinâmica de ocupação foi impulsionada por programas governamentais como o II Plano Nacional de Desenvolvimento (PND) de 1975-1979, cujo principal objetivo era a ocupação produtiva do interior do território brasileiro, a conhecida interiorização do desenvolvimento, em que um dos principais alvos foi o Cerrado, por meio do Programa de Desenvolvimento dos Cerrados (POLOCENTRO) de 1975-1979 e do Programa de Cooperação Nipo-Brasileiro para o Desenvolvimento dos Cerrados (PRODECER I e mais

tarde o II) (JESUS, 1988; ESTEVAM, 2004; SILVA, 2007; FERREIRA et al., 2009; SILVA, et al., 2013), que se baseiam nos princípios preconizados pela Revolução Verde.

Esta se apoia no uso de base técnica dita moderna, amparada no uso de maquinaria em todas as fases do cultivo, no uso de insumos agrícolas (defensivos agrícolas, fertilizantes) voltadas para o mercado externo e a agroindústria, induzindo a formação dos grandes Complexos Agroindustriais (os CAIs) da atualidade (KAGEYAMA et al., 1990). Acrescente-se a modificação genética vegetal para criação e multiplicação de sementes que se adequavam melhor às mais diferentes condições de solos, clima, resistência às doenças e pragas, impulsionadas por técnicas agrícolas e tratos culturais mais modernos e eficientes (BRUM, 1988). A Revolução Verde caracterizou-se por contribuir dessa forma para o aumento da produtividade agrícola mundial. E foi nesse contexto que foi criada a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), como uma organização que atua em pesquisas para ampliar a eficiência na produção agrícola nacional (JESUS, 1988).

Para tanto, o processo de ocupação do bioma Cerrado e do Estado foi resultado do processo conhecido como expansão de fronteiras (ESTEVAM, 2004) que avançou no sentido sul-oeste do País, iniciado pela conversão de terras a pastagens, substituídas posteriormente pela agricultura nas áreas mais adequadas para a produção de *commodities agrícolas*, de grãos, no caso, com destaque para soja, milho e também de cana de açúcar para produção de açúcar e álcool (MIZIARA, 2006; MIZIARA; FERREIRA, 2008; SILVA, et al., 2013), promovendo um novo perfil socioeconômico do Cerrado e do estado de Goiás. Entretanto, esse a forma de ocupação não mostrou preocupação direta com impactos ambientais, relacionados ao uso inadequado dos recursos solo e água. Assim, a intensificação das práticas agropecuárias extensivas e descuidadas (SILVA, et al., 2013), resultou em diversos impactos ambientais que podem comprometer a função agrícola e conseqüentemente a econômica ao longo do tempo. Estes autores salientam ainda que o destaque para as pastagens cultivadas, atividade que mesmo diante de fatores de limitações no bioma Cerrado, congregavam vários fatores favoráveis: receberam incentivo estatal, contavam com o baixo preço de terras e com a implantação de infraestrutura viária e energética. O bioma Cerrado tornou-se o bioma que mais sofreu e ainda sofre pressão ambiental da agropecuária brasileira.

A ciência alerta amplamente para o fato de que a vegetação, sobretudo a nativa, tem papel importante como barreira ativa na diminuição a ação erosiva (MARTINS; REATTO; CORREIA, 2001). É fundamental como auxiliar na infiltração, na agregação de partículas, na composição orgânica e mineral dos horizontes superficiais dos solos. Sua remoção para implantação de atividades agropecuárias é apontada por vários estudos, a exemplo dos

realizados na alta bacia do rio Araguaia situada em parte do estado de Goiás e em parte no Mato Grosso (PONCIANO, et al., 2015; CABACINHA e CASTRO, 2010; FARIA; CASTRO, 2010; BARBALHO, 2010; SIQUEIRA, 2017), como responsável pelo desenvolvimento intensivo de processos erosivos hídricos.

O fomento do processo de ocupação rápida do Cerrado facilitada por políticas do governo federal iniciadas na década de 1970, promoveram também a apropriação rápida e concentrada das terras em ambientes de alta erodibilidade (BARBALHO, 2002; MARINHO, 2003). Neste cenário, Nunes e Castro (2015), na escala 1:2.000, constataram 5.678 focos erosivos apenas no município de Mineiros e arredores, situado no extremo sudoeste do estado de Goiás, desde pequenas ravinas até voçorocas de grande porte, principais tipos de erosão hídrica linear, que contribuíram para a perda de terras agricultáveis e o assoreamento de canais fluviais, inclusive do próprio rio Araguaia. Castro (2005) apontou que na alta bacia do rio Araguaia a maioria dos grandes focos erosivos, especialmente voçorocas, teve início em 1980, justamente quando a fronteira agrícola lá chegava, vinda do sul e do leste (BARBALHO e CASTRO, 2013).

Assim, o histórico da evolução do uso e ocupação das terras do estado de Goiás intensificou-se desde a segunda metade do século passado, diante a expansão da fronteira agrícola. Portanto, para entender como a questão do problema erosivo hídrico ocorre no Estado é necessário remeter à análise das consequências desse processo e numa avaliação multiescalar, minimamente em nível estadual e local. Os dados do MapBiomias (2016) apontam que 25,43% do território do estado de Goiás é utilizado por pastagem. O manejo nesse tipo de atividade é importante devido o potencial de degradação do solo sendo promovido pelo pisoteio animal, na busca dos canais de drenagem para beber água, produzindo trilheiros onde o solo é compactado pelo peso animal, impossibilitando a infiltração de água e elevando a concentração do escoamento superficial que pode começar como sulcos que podem evoluírem para ravinas em período de chuva, as quais se interceptarem o nível freático e evoluem para voçorocas (IPT, 1986; SALOMÃO, 1999; ALMEIDA E RIDENTE JR, 2001).

As pastagens no estado de Goiás e Distrito Federal cobrem 14.154.338ha em que 9.092.747ha (64% da área ocupada pelas pastagens) não foram degradadas, mas as demais, somando 5.061.591ha (36%), já foram degradadas em algum grau (GALDINO et al., 2016). Estes autores apontam ainda que fica bastante evidente que o manejo inadequado das pastagens resulta em incremento das taxas de erosão do solo. Silva et al. (2013), para o estado de Goiás e Distrito Federal, associam o crescimento da pecuária à criação e implementação de

infraestrutura viária. O uso inadequados das terras pode acarretar o impacto de erosão que é apontada como uma das principais degradações provenientes das práticas inadequadas de agricultura e pastoreio excessivo e que provocam o depauperamento das melhores terras do Brasil (LEPSH, 2002; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010).

A degradação promovida pela erosão pode interferir na fertilidade do solo, reduzir a área agricultável ao lixiviar os corretivos e nutrientes para as áreas rebaixadas onde ocorrerá assoreamento e poluição dos corpos d'água, provocando também problemas na disponibilidade do carbono orgânico, que desencadeia problemas de agregação e fertilidade, dentre outros impactos, como os econômicos, sociais e até mesmo culturais (LAL, 2001). De acordo com Pennock (2019), a erosão hídrica induzida leva à entrada de sedimentos em canais fluviais e reservatórios, podendo promover o impacto do assoreamento, a contaminação por agroquímicos, pesticidas ou mesmo reduzindo a eficiência, ou o tempo de vida do solo.

O estado de Goiás possui uma densa rede de drenagem, com bacias importantes de escala nacional, como as bacias do rio Araguaia, do rio Tocantins, do rio Paraná, do rio São Francisco e do rio Javaés, (IBGE, 2010). Ambientes de fundos de vale, ripários e com matas ciliares, são sensíveis a processos erosivos, por fatores como relevo e solo frágeis, razão pela qual são protegidos por lei (BRASIL, 2012), necessitando amplamente de cobertura vegetal para sustentação das encostas, que auxiliam também na retenção de sedimentos lixiviados. Mas, com a flexibilização da lei ambiental, a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, permite novos usos de ambientes naturais com reduzida atuação dos profissionais ambientais, atraindo ainda mais investidores do setor do agronegócio (REIS; PERTILE, 2019). Nesse sentido, Martins; Reatto; Correia (2001) alertam que o uso intensivo de vertentes aumenta a erosão e processos de sedimentação nos canais de drenagem, o que também degrada as Matas de Galeria.

No estado de Goiás ocorrem diversas classes de solos, como Latossolos, Argissolos, Nitossolos, Neossolos, Plintossolos, Gleissolos, Chernossolos (IBGE, 2010; OLIVEIRA, 2013). A classe dominante é a dos Latossolos que cobre cerca de 52% das terras goianas, mas que já foram considerados problemáticos para agricultura, devido sua acidez. Brum (1988) explica que a Revolução Verde em 1960, contribuiu com o melhoramento desses solos, criando corretivos para essa reconhecida acidez. São também solos de baixa erodibilidade, mas podem ser atingidos pelo processo erosivo, sobretudo laminar, caso não sejam usados e manejados corretamente. A segunda classe de solo é a dos Argissolos, que são moderadamente suscetíveis à erosão, e a terceira é a dos Cambissolos e dos Neossolos,

sobretudo os Quartzarênicos, estes os mais suscetíveis, sobretudo pela textura arenosa e baixa coesão de partículas, que lhe atribuem elevada erodibilidade (SALOMÃO, 1999).

Como a economia do estado de Goiás está atrelada à agropecuária, conta com uma base de dados cartográficos em escala regional, que auxilia para o entendimento da paisagem, no entanto, no que diz respeito a dados para relativos à erosão hídrica linear, ainda não há um documento completo. Há mapa e dados de erodibilidade (SCOPEL e SILVA 2001) que apontam áreas que necessitam de atenção, como as no extremo sudoeste do Estado, de alta erodibilidade e amplo uso pela agropecuária. Para a erosividade, dada a complexidade do cálculo pela disponibilidade de dados, até 2015 o Estado possuía apenas estudos para alguns municípios, como Goiânia (SILVA et al., 1997), Posse (REZENDE et al., 2015), Morrinhos (CABRAL et al., 2005) ou para algumas bacias hidrográficas ou parte delas, como a do Paranaíba e a Alta bacia do Rio Araguaia (SANTANA et al., 2007). Porém, em 2015, Galdino apresentou o mapa da erosividade de todo o estado de Goiás e Distrito Federal (GALDINO, 2015). Os dados podem ser observados a seguir:

- Erosividade de *Goiânia* - utilizados dados da estação da ENGOPA, do período de 1989 a 1993. A metodologia adotada foi a proposta de Wischmeier; Smith(1978), com adequação de Wagner; Massambani (1998). Não foi constatada diferença significativa entre os coeficientes das equações de energia cinética utilizadas, preconizadas por Wischmeier; Smith (1978) e Wagner; Massambani (1998). O período crítico em relação à erosão, devido à ocorrência de chuvas erosivas em Goiânia, vai de setembro a fevereiro, quando ocorreram 85,70% e 84,05% do total anual.
- Erosividade de *Posse* - os dados foram coletados da estação de Posse a qual possui dados disponíveis de 1977 a 2008. Para ampliar a série de dados de erosividade pra obtenção do fator R da USLE, foi realizado um ajuste de equações entre os índices de erosividade das chuvas. (EI30 e KE>25). A erosividade média anual para o índice EI30 encontrado para Posse - GO é de $7292,8 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$. De dezembro a janeiro concentram-se 19,1 e 16,6% dos índices sendo os meses mais erosivos.
- Erosividade da *Alta bacia do rio Araguaia* - 20 anos de dados das estações da ANA, mas não aponta o período. A metodologia utilizada foi a de Tommaselli, Ferreira e Carvalho elaborada a partir de estudos de Lombardi Neto; Moldenhauer (1980). Em todas as estações meteorológicas estudadas a erosividade apresentou-

se alta e a área pode ser considerada potencialmente erosiva com valores médios variando de 8100 a 9600 $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$.

- Erosividade de *Morrinhos* - foram utilizados dados de 30 anos coletados de 1971 e 2000. Utilizou-se a proposta de Bertoni; Lombardi Neto (1993) para gerar o índice de erosividade. A média mensal do índice de erosão (EI) referente aos 30 anos, do período de 1971 a 2000, foi superior ao decênio de 1971-1980, e inferior ao decênio de 1981 a 1990 e 1991 a 2000. No período da estação chuvosa, que vai de outubro a março, época de cultivo do solo, é quando ocorre o maior potencial erosivo, concentrando-se entre 82% e 93% das precipitações e 93% a 95% do EI anual.
- Erosividade do estado de *Goiás e Distrito Federal* - foram analisados dados de 88 estações pluviométricas, relativos ao período de 1980 a 2010. Utilizou-se a metodologia de Fournier modificado por Lombardi Neto; Moldenhauer (1992) à estimativa da erosividade da chuva na região. A erosividade anual da chuva em Goiás variou de 7.425 $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$ a 9.633 $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$, com média de 8.359 $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$. O Distrito Federal apresentou erosividade média de 8.024 $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$, oscilando entre 7.796 $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$ e 8.348 $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$. A erosividade na área estudada foi classificada como forte.

Todos os artigos consultados trabalharam com a metodologia de Wischemeier e Smith (1978), entretanto, com adaptações para a equação de cálculo da erosividade, predominando as desenvolvidas pelos pesquisadores Bertoni e Lombardi Neto (1992). O cálculo de erosividade desenvolvido por Wischemeier e Smith (1978) é parte da equação de perdas de solos, onde R é o índice numérico que expressa a capacidade da chuva esperada em uma determinada localidade e pode promover erosão em uma área sem proteção. No caso da erosividade para Goiânia, foi utilizada uma série temporal bem mais curta, de apenas 5 anos, e tanto no modelo de Wischemeier e Smith (1978), quanto de Lombardi Neto e Moldenhauer (1992), afirma-se que são necessários, no mínimo, 20 anos. Para o município de Posse os autores não apresentam claramente a metodologia adotada e para Morrinhos fazem uma descrição justificando o uso dos parâmetros propostos por Bertoni e Lombardi Neto (1993), correlacionando-os com a topografia para expor os dados e ampliarem a discussão.

Os cálculos e o mapeamento da erosividade para o estado de Goiás e Distrito Federal foram, primeiramente, um importante esforço, que já se fazia necessário há algum tempo, por ampliar as possibilidades de uso desses dados para planejamento de uso e ocupação. No

entanto, o próprio estudo aponta que o modelo desenvolvido foi para Campinas (SP) e há diferença entre o clima subtropical de Campinas (Cwa) e o clima quente e úmido (Aw) do estado de Goiás. Mesmo assim, Galdino (2015) afirma que há grande semelhança do regime pluviométrico de Campinas no período de 1954 e 1975 com os registros pluviométricos do período de 1980 e 2010 para o Estado de Goiás e para o Distrito Federal.

Pautado em aparato tecnológico Galdino et al., (2016) utilizando-se dos dados recentes de erosividade, realizaram o estudo para o estado de Goiás e Distrito Federal com a modelagem em grande escala de erosão do solo para as pastagens, obtidos por modelos empíricos, como USLE/RUSLE. Os resultados apontam grande magnitude de diferenças nas taxas de perda de solo, entre diferentes cenários em ambiente de pastagens. Por outro lado, a pesquisa evidenciou a importância de recuperar as pastagens degradadas e implementar práticas de conservação do solo. Os autores afirmam ainda que se pode esperar um aumento de 709% na taxa de erosão do solo pela taxa de água, isso se as pastagens forem mal manejadas e não adotarem práticas de conservação.

Em dados da FAO (1995), o estado de Goiás é identificado como ambiente de solos degradados por erosão hídrica e produtos químicos. O uso sem manejo adequado impacta a biodiversidade existente proveniente de uma vegetação de Cerrado, bioma considerado de alta diversidade de espécies. E a supressão vegetal desses ambientes e mudança para ambientes de uso agropecuário podem possuir fatores importantes no entendimento da ocorrência das erosões hídricas no Estado, sobretudo diante das características físicas que formam essas paisagens.

Além do problema erosivo existente nas áreas rurais, no estado de Goiás destaca-se também na problemática das erosões urbanas (ALMEIDA FILHO, 2001). Para Souza e Medeiros (2003), as erosões geram várias consequências socioeconômicas como a perda de áreas habitáveis, interrupção de vias, assoreamento do leito dos cursos d'água, degradação de patrimônio público e privado. Nos ambientes urbanos a erosão, para além de um impacto, torna-se um fator de risco, por estar em ambientes que possuem vidas humanas habitando e circulando.

No estado de Goiás foram identificados em pesquisas, problemas erosivos na região do entorno de Brasília, nos municípios de Anápolis, Silvânia, Goiânia, na alta bacia do rio Araguaia, todos com enfoque nas erosões hídricas lineares. No Distrito Federal em mapeamento em escala regional e local, foram identificadas áreas com erosões e solos degradados, que em campo alcançou o número de 1.252 focos, superior ao identificado em imagens. Desse total 34% se encontravam em locais de solo exposto, 29% em área urbana e

13% em área agrícola (MARTINS, et al., 2006). Os autores afirmam que a intensificação do processo de urbanização, que impermeabiliza o solo por meio de telhados, ruas, calçadas, é o fator principal do processo erosivo no Distrito Federal, e salientam ainda que a tendência é o aumento desse número devido às áreas de empréstimo onde se desenvolvem também os processos erosivos.

Goiânia, capital do estado foi criada em 1933, projetada para 50 mil habitantes, já na década de 1970 contava com 363 mil habitantes, período que se iniciou o parcelamento clandestino de terras (SALES e NASCIMENTO, 2003; MARTINS, et al., 2006). Em 1992 e 1993 foram realizados cadastros das erosões em Goiânia pelo Departamento de Estradas de Rodagem do Município (DERMU), quando foram identificados na área urbana 45 grandes focos de voçorocas. Os processos erosivos no município foram associados a ocupação desordenada, com sérias consequências para o sistema de drenagem. Sales (2002), em um novo cadastro, identificou 63 erosões, que Faria (2008) confirmou. Cavalcante (2019), ao mapear os focos erosivos lineares em 2016 aponta uma diminuição para 29 focos, mas enfatiza que o crescimento urbano caminhou junto com a erosão no processo histórico da ocupação urbana, pois os focos identificados em seu trabalho predominaram nas áreas de expansão urbana, entre 1982 e 2016.

Os dados que auxiliam na identificação das áreas mais suscetíveis à erosão são importantes, no desenvolvimento de políticas de uso ocupação do solo e licenciamento de uso. Os componentes analisados individualmente podem servir como base para uma análise integrada e subsídio para estudos em áreas críticas que auxiliem no entendimento dos sistemas que condicionam a ocorrência das erosões hídricas lineares. Assim como é fundamental compreender a base conceitual referente à erosão hídrica linear, seus condicionantes e suscetibilidades, em diferentes escalas, como se verá a seguir.

CAPÍTULO 2

REFERENCIAL TEÓRICO DA PESQUISA

2.1. Erosão hídrica: base conceitual

O planeta possui uma superfície dinâmica que resulta de processos que, por sua vez, são produtos de interações entre seus componentes ao longo do tempo, e por não ser uma superfície estática, portanto, encontra-se em estado de contínuas modificações. Rios, ventos, geleiras, enxurradas e outros fenômenos, como a erosão, promovem a esculturação da superfície terrestre. A erosão é considerada um processo geomórfico que ocorre naturalmente, mas também pode ser induzida pela ação humana ao usar o solo, acarretando em taxas de deslocamento e transporte do solo (PENNOCK, 2019). Para geólogos e geógrafos, os processos erosivos implicam em um conjunto de ações que modelam a paisagem, sendo que geralmente acarretam a destruição das saliências ou reentrâncias do relevo (GUERRA; GUERRA, 2003). No entanto, a erosão é considerada como uma forma de degradação dos solos (LEPSH, 2002).

Blanco; Lal (2008) definem erosão em dois tipos: erosão geológica e acelerada. A geológica se manifesta por ocorrência de processos naturais de modificações da crosta terrestre, podendo ser reconhecidos apenas no decorrer de longos períodos de atividade. A erosão acelerada é quando a taxa de erosão se torna mais rápida do que a geológica ou normal, e é desencadeada por ações humanas como o desmatamento, a agricultura e o pastoreio. Lepsch (2002) explica que a agricultura e pecuária foram as principais atividades que induziram os processos de erosão acelerada nas áreas agrícolas do planeta, pois, nem todo manejo foi conservacionista, sobretudo no início. A prática da retirada da cobertura vegetal e o revolvimento das camadas mais superficiais sem o devido cuidado, desprende torrões e partículas que constituem a estrutura do solo e que, quando soltas, se desagregam e são facilmente removidas pelo escoamento superficial das águas pluviais nas encostas. Além disso, os solos de áreas de cultivo, por serem deixados frequentemente sem cobertura vegetal ou com pouca, acabam sendo suscetíveis ao transporte desse material (BLANCO; LAL, 2008).

Há vários tipos de erosão de acordo com o agente deflagrador, como a eólica, marítima, costeira, glacial, fluvial, biótica e hídrica ou hidropluvial. Diz-se erosão atmosférica quando é provocada por agentes naturais como vento (erosão eólica), água das chuvas (pluvial ou hídrica) e águas correntes (fluvial) (GUERRA e GUERRA, 2003). Dados do PENNOCK

(2019) apontam que a erosão hídrica tem sido a mais amplamente estudada e a que afeta a maior área de terra, sendo ela o processo de desprendimento e arraste das partículas do solo causada pela água das chuvas (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010). Blanco; Lal (2008) afirmam que em escala global a erosão hídrica é o tipo mais severo de erosão do solo. A velocidade com que ocorre varia de acordo com as características do clima, topografia, uso, manejo e cobertura vegetal (LEPSH, 2002).

A erosão hídrica é desencadeada pelo impacto das gotas de chuva no solo, provocando o desprendimento de suas partículas e as enxurradas são provenientes das águas de chuva não infiltradas, associadas aos declives, ou seja, que se locomovem das posições topográficas mais altas para posições mais baixas, transportando partículas de solos em suspensão e íons em solução, provenientes dos nutrientes naturais ou de insumos, além de defensivos (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010).

A manifestação da erosão hídrica na superfície ocorre de duas formas principais: em termos de fluxos e feições resultantes: a laminar e a linear (sulcos e ravinas ou voçorocas) (SALOMÃO, 2015). O início do processo se dá pela ação do salpico (*splash*), definida como erosão por salpicamento das gotas de chuva no solo (GUERRA e GUERRA, 2003), promovendo a ruptura dos agregados, que vão quebrando em tamanhos menores, até que possam ser deslocados pela enxurrada. Quando se observa uma única gota que cai em superfície inclinada, seu impacto na superfície do solo tem dois efeitos, o primeiro com uma força consolidadora, compactando o solo e o segundo como uma força disruptiva das partículas de solos, um efeito que geralmente produz apenas alguns milímetros de espessura (MORGAN, 2005).

No princípio do processo erosivo os agregados soltos preenchem poros e irregularidades do terreno, como reentrâncias da superfície do solo, e promovem o conhecido selamento, a infiltração induzindo a acumulação em superfície (*ponds*) e a saturação dos solos. Uma vez preenchidas por água, essas irregularidades começam a se ligar umas às outras dando origem ao fluxo hídrico denominado de escoamento superficial (*runoff*), que a princípio é difuso, mas pode se tornar posteriormente concentrado, em linhas de fluxo (GUERRA, 1999).

Morgan (2005) explica que uma resposta real de um solo a uma dada chuva depende do seu teor de umidade antecedente à chuva, do seu estado estrutural e da intensidade da chuva. Quando o solo está seco e recebe chuva de alta intensidade, os agregados se desintegram rapidamente pelo processo de dissecação, que corresponde à quebra por compressão do ar antes da frente de contato com a água. Nesse caso a infiltração pode ser

reduzida rapidamente e quando a superfície for lisa o escoamento é gerado em apenas alguns milímetros de chuva. Diferente de quando a superfície é mais áspera, tornando o armazenamento maior e o escoamento leva mais tempo para se formar.

Ponneck (2019) trabalha com três etapas com denominações específicas para descrever o processo da erosão hídrica: 1º - O desprendimento das partículas ou agregados do solo (erosão não canalizada de respingo inter-rill); 2º - O movimento de material destacado (erosão canalizada de *rill* ou *gully*); 3º - E por fim a deposição desse material.

A erosão laminar corresponde ao primeiro tipo de escoamento – o difuso – quando ocorre a lavagem uniforme e superficial do solo e a remoção de uma delgada camada do terreno. Esse tipo de erosão é difícil de ser percebido, mas com o decorrer dos anos as raízes das árvores começam a aparecer, sendo um indicador de que está havendo perda de solo, um fenômeno típico de desgaste de terrenos com baixos declives, podendo evoluir para sulcos (LEPSH, 2002).

Fatores como o volume da precipitação, a inclinação da superfície e a vegetação reduzem o fluxo superficial e esses fatores influenciam na taxa de infiltração da água. Em ambientes de climas temperados e tropicais com cobertura vegetal e solos mais espessos e permeáveis, há redução natural da capacidade de transporte e escoamento superficial (GARY, 2009).

Para a erosão laminar o DAEE/IPT (1989) aponta três conjuntos de fatores naturais que desencadeiam a perda de solos: a natureza do solo, isto é, suas características físicas e morfológicas (textura, estrutura e permeabilidade); a Morfologia do terreno (declividade e comprimento das encostas) e o Clima, no que tange ao volume de chuva que atinge a superfície do terreno, promovendo a remoção do solo. Essa erosão possui como característica o desprendimento dos primeiros horizontes que possuem matéria orgânica (húmus) e argila, os mais ricos em nutrientes para as plantas. Para a erosão linear, isto é, quando há um escoamento concentrado das enxurradas podem se formar sulcos, ravinas e voçorocas, à medida que a erosão se aprofunda no terreno, acompanhando as linhas de fluxo (DAEE/IPT, 1989). Pequenas diferenças que configuram uma superfície como inclinação, rugosidade podem causar uma variação espacial na característica do fluxo levando ao desenvolvimento da incisão (PONNECK, 2019). E por fim o material carregado pela energia hidráulica até quando o fluxo não é mais capaz de transportar, é depositado no ambiente plano para onde converge o fluxo, que passa a acumular o material procedente de montante. Em geral, esse tipo de deposição ocorre na base das encostas em uma superfície nivelada.

Lal (2008) também indica três etapas para o processo da erosão hídrica linear: destacamento, transporte e deposição, porém os detalha mais minuciosamente (Figura 3):

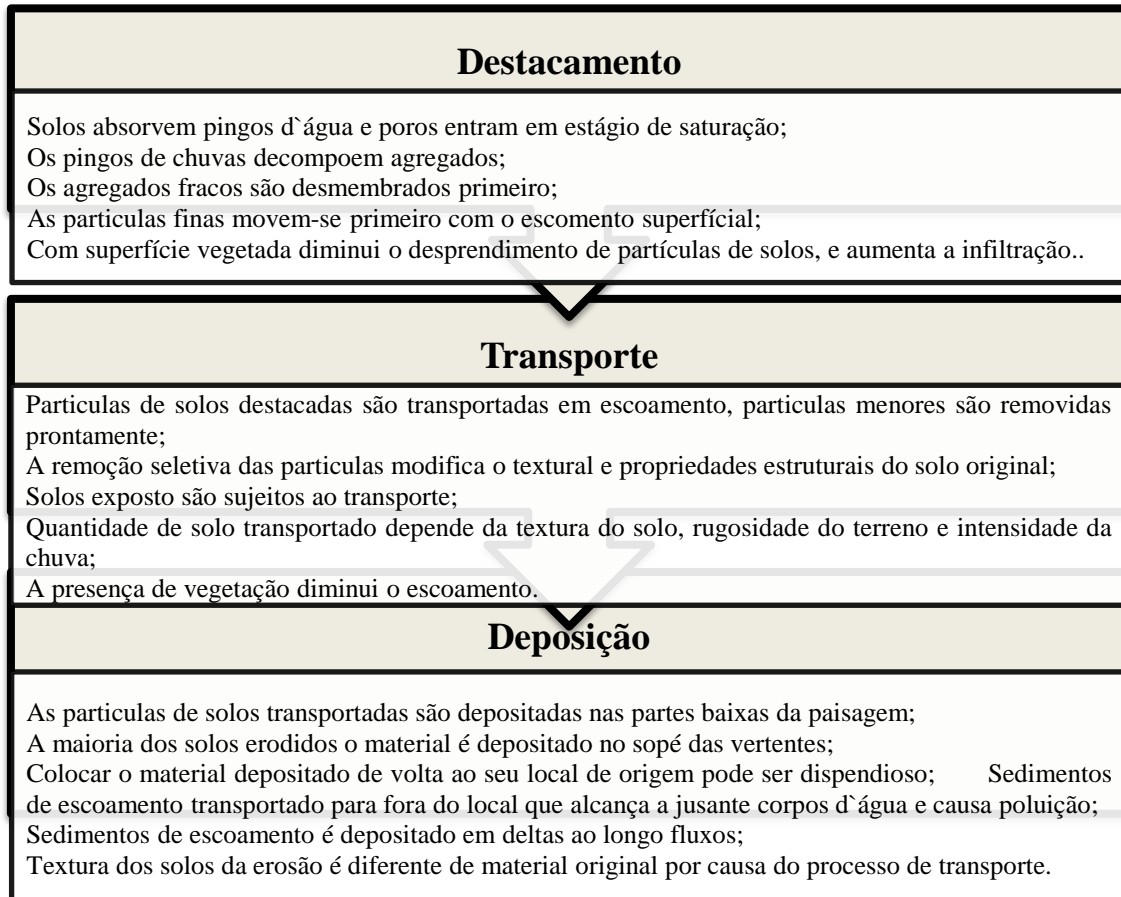


Figura 3. Fases do processo de origem da erosão hídrica linear.
Fonte: Adaptado de Blanco e Lal (2008).

O efeito da erosão no local (*on-site*) se dá pela redução da espessura da camada superior do solo, uma degradação estrutural, perda de matéria orgânica, depleção de nutrientes, perda de produtividade das culturas. O efeito da erosão fora do local (*off-site*) é correlato ao transporte de sedimentos, produtos químicos que causam a poluição, sedimentação e assoreamento dos cursos hídricos, e os sedimentos transportados para fora do local alteram as características da paisagem, causando perdas econômicas, pois reduzem a produtividade dos solos, seja para pastagem ou para a agricultura, além de aumentar a mortalidade das árvores, quando o material erodido é acumulado em planícies aluviais (BLANCO e LAL, 2008). Atividades de uso e ocupação devem levar em conta, em seu planejamento, métodos que previnam a degradação por erosão hídrica, pela manutenção do

sistema e mesmo da produtividade quando for o caso, visto que os custos para recuperar são elevados.

2.2. Tipos de Erosão hídrica linear: sulcos, ravinas e voçorocas

O escoamento superficial, conhecido como causa da erosão linear, ocorre em linhas de fluxo, é iniciado pelo desprendimento e deslocamento das partículas de solo de forma concentrada, dando origem a incisões em formato de sulcos alongados, acompanhando as linhas de fluxo na superfície do terreno. Quando há rompimento dos sulcos, eles interligam-se uns aos outros, podendo evoluir para ravinas (INFANTI e FORNASARI, 1998).

A erosão hídrica ocorre devido a irregularidades na declividade do terreno, que favorecem a formação da enxurrada, a qual vai ano após ano esculpindo e aprofundando a cavidade. Entretanto, quando a erosão é rasa, isto é, em sulcos, ela pode ser desfeita com as operações de preparo do solo, sendo uma erosão que tem maior atenção do lavrador, sobretudo em ambientes de declividades mais pronunciadas e ocorrência de chuvas intensas (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010). Com a coalescência de numerosos sulcos pode formar-se um canal, seguindo ou orientado pelas trilhas do gado, assim como pelo arado, sobretudo quando direcionado vertente abaixo (BIGARELLA, 2007).

- Sulcos: são incisões rasas no terreno que possuem profundidade e larguras inferiores a 50 cm (DAEE/IPT, 1989); se não corrigidos adequadamente podem evoluir com o passar do tempo e ocorrência de chuvas, tornando-se mais profundos e rompendo e ramificando-se, evoluindo para ravinas. Almeida Filho e Ridente Junior (2001) afirmam que o começo da erosão em sulcos está associado a trilhas de gado em locais de solo exposto e a movimentação da terra. Para prevenção e controle de sulcos muitas técnicas provaram ser eficazes como a cobertura vegetal, preparo reduzido, barreiras de pedra, terraços e barragens de controle (VALENTIN; POESEN; YONG, 2006).

- Ravinas: são mais profundas que os sulcos, mas sem limite máximo; correspondem a canais de escoamento concentrado, apresentando-se como feições bem definidas (MAGALHÃES; FURTADO, 2001); porém, uma vez estabelecidas em uma encosta tendem a evoluir com bifurcações em pontos de ruptura de declive (*Knickpoints*) (GUERRA, 1999). Sua formação ocorre em etapas - com o fluxo linear (*flowline*) devido a concentração do fluxo de água em canais pequenos, a profundidade aumenta e a velocidade diminui, causada pelo movimento das partículas que são transportadas por esses pequenos canais podendo iniciar as futuras ravinas. O aumento da rugosidade no fundo dos pequenos canais causa uma

turbulência localizada, aprofundando, assim, a erosão, podendo surgir algumas pequenas cabeceiras nas ravinas; quando isso ocorre é porque está alcançando um nível de desequilíbrio dinâmico e indica que a taxa de produção de sedimentos a partir do recuo das cabeceiras excede a capacidade de transporte do fluxo de água (GUERRA, 1999).

O impacto das ravinas no campo é amplo, provocando dissecação do campo, poluição de forma não pontual, por sedimentos e produtos químicos carreados para a fonte de água próximas e cortes na estrutura das plantações, que alteram características do relevo e de cursos d'água (BLANCO; LAL, 2008).

-Voçorocas: há uma ampla forma de interpretação a começar pelo nome, para esse tipo de erosão (REZENDE, 2003); no Brasil é utilizado tanto voçoroca, como boçoroca, corruptela do termo derivado do tup-guarani *ibi çorok* (terra rasgada). De acordo com a Ponneck (2019) as voçorocas são canais incisos que não podem ser preenchidos por operações normais de lavoura. É internacionalmente conhecida como *gully*, termo em inglês (BACELLAR, 2000). Blanco; Lal (2008) apontam que *gully* é definida como erosão com canais de incisão linear em forma de V ou U com pelo menos 0,3m de largura e 0,3m de profundidade, formada principalmente pelo escoamento concentrado convergindo para os pontos mais baixos do relevo.

O processo de formação da voçoroca pode ser através de uma passagem gradual da erosão laminar para erosão em ravinas cada vez mais profundas, ou de forma direta diante precipitação intensa a partir do ponto mais elevado de concentração de águas sem a devida dissipação de energia (DAEE/IPT, 1989). Tanto ravinas como voçorocas podem ser consideradas incisões resultantes da tendência de um sistema natural atingir um dado equilíbrio, que ocorre entre a disponibilidade de energia e a eficácia do sistema em dissipar energia, podendo ser incisos naturais, resultado de um desequilíbrio ou induzidos pela ação humana (OLIVEIRA, 1999).

As voçorocas são as formas mais espetaculares de erosão, pois são formadas pelo escoamento concentrado das águas pluviais, bem como pelo subterrâneo, que forma dutos internos (os *pipes*), os quais induzem subsidências alongadas na topografia externa dos terrenos devido subsidência decorrente da remoção interna das partículas no interior dos dutos. Estas são feições que cortam curvas de nível nas vertentes e atingem o horizonte C e mesmo a rocha alterada, apresentando taludes verticais e fundo plano podendo atingir vários metros de profundidade (LEPSH, 2002), similares a um canal fluvial surgente.

O IPT/DAEE (1986) e Magalhães; Furtado (2001) defendem que só é voçoroca quando a incisão intercepta o nível freático ou um lençol suspenso, apresentando sua

exfiltração na forma livre por meio de pontos de surgência em lâminas ou dutos (*pipes* em inglês). Esse processo de formação de dutos é denominado internacionalmente de erosão interna ou em *piping*. Para fins de classificação e identificação da forma de voçorocas, Magalhães; Furtado (2001), propõem três principais classes, como ilustram os desenhos esquemáticos da figura 4.

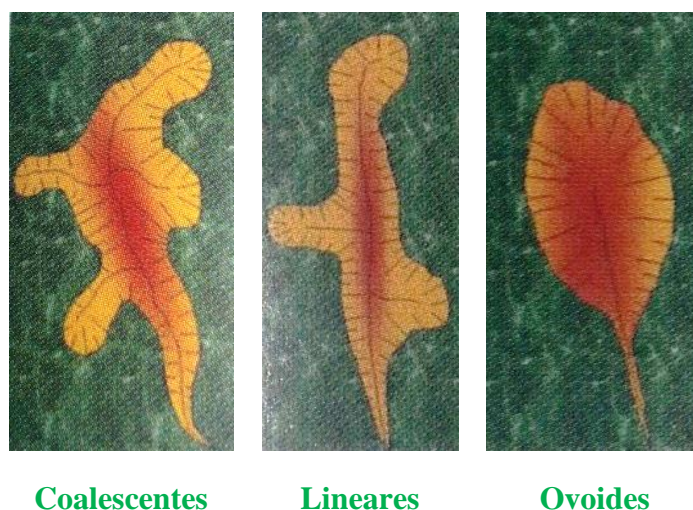


Figura 4. Classificação de tipos de voçorocas.
Fonte: Adaptado de Magalhães; Furtado (2001).

As voçorocas coalescentes são constituídas por mais de um anfiteatro à montante, resultante de avanço das reentrâncias nas paredes laterais, que evoluem de forma independente. As voçorocas lineares apresentam um grande desenvolvimento longitudinal, assemelhando-se a um cânion, mas terminando a jusante, igualmente, por um canal estreito. E as voçorocas ovoides, se caracterizam por possuírem características de um anfiteatro de paredes íngremes na parte superior (montante) e um canal estreito à jusante (MAGALHÃES e FURTADO, 2001).

Em uma voçoroca, a convergência de mecanismos que atuam podem gerar outras feições erosivas, sendo que no cadastramento em campo é possível avaliar os mecanismos individuais que ocorrem no interior da incisão (OLIVEIRA, 1999).

2.3. Condicionantes e suscetibilidade à erosão hídrica

A erosão possui como principais fatores condicionantes: Clima (Erosividade); Solos (Erodibilidade); Topografia (Declive, Comprimento de vertente ou rampa, Formas ou geoformas); Cobertura Vegetal e Ação antrópica (Práticas conservacionistas e Práticas de manejo). São condicionantes que são utilizados para analisar o processo diante a elaboração de modelos que, por sua vez, se utilizam de variáveis e que, a partir de expressões matemáticas, representam diversos fatores da paisagem: topografia, variáveis meteorológicas, propriedades dos solos e práticas conservacionistas (FARINASSO, et al.; 2006).

O clima é um fator intimamente ligado ao regime pluviométrico, pelo impacto exercido pelas gotas de chuva no solo, com velocidade e energia que variam em função da intensidade e intervalo de ocorrência dos episódios pluviais individuais. O índice na modelagem que expressa a capacidade da chuva em provocar erosão é conhecido como erosividade, um parâmetro para auxilia a quantificar as perdas de solo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010).

Os solos possuem propriedades físicas que lhes conferem maior ou menor resistência à ação erosiva da água, denominada erodibilidade, cujos componentes que se destacam são textura, estrutura, permeabilidade, densidade, características químicas, biológicas e mineralógicas. A topografia é o fator que está relacionado ao relevo, sobretudo à declividade e comprimento de rampa (encosta ou vertente), um fator que interfere na velocidade do fluxo de escoamento das águas pluviais (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010). A cobertura vegetal um fator considerado de defesa natural do solo, que funciona como manta protetora (ALMEIDA FILHO e RIDENTE JR, 2001). Ela atua evitando a desagregação das partículas do solo pela proteção que exerce contra o impacto direto das gotas de chuva, dispersando e quebrando a energia das águas, que se soma à proteção exercida pela matéria orgânica que aumenta a retenção da água, além das raízes que auxiliam no aumento da infiltração. Por fim, a ação antrópica, diante da forma como o ser humano realiza suas atividades de uso do recurso solo, pelo desmatamento, cultivo das terras, implantação de pastagens, implantação de estradas, criação e expansão das áreas urbanas que, se efetuada de forma inadequada, constitui-se em fator decisivo na produção e aceleração dos processos erosivos (PRUSKI, 2010).

Todos esses componentes interagem, constituindo e configurando as paisagens e podem ser estudados quanto às suas características e potencialidades, separadamente, como variáveis. No entanto, são parte de um único sistema que corresponde à fisionomia e

fisiologia de uma paisagem, por isso a correlação das variáveis e o estudo da constituição de um dado ambiente é fundamental, principalmente quando o estudo está direcionado à degradação por erosão. Considerando a erosão como um fenômeno multifatorial, Castro e Oliveira (2006), afirmam que em estudos ambientais pautados na concepção da análise integrada, o cruzamento ou mesmo a interpolação de dados é importante por possibilitar uma compreensão da relação existente entre os fenômenos físicos de uma determinada área e permitir um entendimento da configuração e dinâmica entre os fenômenos físicos e seus produtos.

O impacto da erosão em um ambiente, a partir da perda de solos, é uma questão de interesse social e científico (FAO, 2015). Diante da necessidade de estudos aprofundados sobre o assunto foram elaborados diversos modelos de estudo ao longo da história, que se utilizam das variáveis que condicionam a erosão. Um modelo criado que se destacou em todo o mundo para estudo e previsão de processos erosivos foi elaborado por Wischemeier e Smith (1978) - a Equação Universal de Perda de Solo, a EUPS (USLE – em inglês). Não se pode tratar de erosão sem falar na EUPS, um modelo estatístico, que trabalha a erosão em escala de parcelas. Foi desenvolvido no National Runoff and Soil Loss Data Center (Purdue University, Estados Unidos) em 1954 e sistematizada por Wischemeier; Smith (1978). Tem por fatores: erosividade, erodibilidade, comprimento de rampa, declividade do terreno, o uso e manejo do solo e as práticas conservacionistas empregadas. Renard et al., (1997) revisaram este modelo e aperfeiçoaram os métodos de determinação de seus fatores, constituindo a Equação Universal de Perda de Solos Revisada (RUSLE). A fórmula amplamente aplicada é:

$$A = R. K. L.S. C. P$$

A – representa a perda média anual de solo por erosão por unidade de área e de tempo;

R – o fator erosividade da chuva;

K – o fator erodibilidade do solo;

L – o fator comprimento de rampa, adimensional;

S – o fator declividade, adimensional;

C – o fator uso e manejo do solo, adimensional;

P – o fator práticas conservacionistas, adimensional.

Este modelo é amplamente utilizado no meio científico, necessitando de ajustes de acordo com características de cada ambiente. Conforme Maria (2010) os modelos necessitam de adequação para o Brasil, que possui ambientes com características e paisagens diferentes da região temperada onde a EUPS, como outras, foram propostas. A EUPS é amplamente

utilizada para estudos de erosão laminar. Contudo, para obter-se maior precisão dos dados, os solos devem ser mapeados adequadamente. É um método satisfatório para uma análise qualitativa, sobretudo com aferição em campo, permitindo a localização geográfica das áreas de maior suscetibilidade natural à erosão laminar, gerando uma informação que serve de subsídio relevante para elaboração de planejamento agrícola e ambiental em grandes e pequenas bacias (BLOISE et al., 2001).

Há um empenho por parte de pesquisadores brasileiros como Bertoni e Lombardi Neto, ao trabalhar desde a década de 1970 com essa temática calculando a erosividade para o ambiente de São Paulo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010), assim como Salomão (1999) que apresenta metodologia de erodibilidade com outra forma de adaptar os índices. Os demais fatores da EUPS podem ser adaptados e trabalhados para o Brasil, como fez Silva (2004), ao adaptar equação de erosividade para todo o Brasil.

As dificuldades ao trabalhar a USLE ou RUSLE resultam de diversos fatores, o primeiro é destinar-se a pequenas áreas, perdendo precisão quando aplicada a áreas maiores e outra dificuldade é a adequação dos parâmetros para o ambiente. Diante disso, Maria (2010) sugere que a unidade de terreno para planejamento de ações para avaliação e controle da erosão sejam as bacias hidrográficas, pela sua importância ambiental. A autora afirma ainda que as ações diretas e contínuas são necessárias para desenvolver e adaptar modelos, quantificar fatores e parâmetros de degradação dos recursos naturais, construir ferramentas geotecnológicas para espacializar a erosão na paisagem, com o intuito de adaptação de práticas de controle de erosão e manejo do solo, ressaltando o quão valiosos são os esforços para modelar e integrar dados por meio de SIGs para predição da erosão na paisagem. Ademais, a bacia hidrográfica é definida como uma unidade de planejamento territorial brasileiro (Lei 9433 de 1997).

A identificação dos processos erosivos e dos condicionantes da erosão hídrica estão intimamente ligados aos levantamentos e interpretações de dados das morfoestruturas, a partir de critérios pré-estabelecidos para suas classificações. Nesse sentido, os estudos de suscetibilidade a perda de solos em escalas regionais, servem somente para categorizar qualitativamente as áreas quanto maior ou menor suscetibilidade (FARINASSO, 2006). Mas, os processos erosivos podem ser estudados de formas distintas: quantitativas quanto às perdas de solo e qualitativas, sobre o comportamento erosivo do terreno, devendo sempre diferenciar os processos erosivos por escoamento laminar ou difuso que são resultantes da concentração ou não do de fluxo, pois cada um possui mecanismos e condicionantes diferentes (SALOMÃO, 2015).

Salomão (2015) ainda salienta que a erosão laminar ocorre frequentemente em ambientes de uso agropecuário. No entanto, a suscetibilidade à erosão laminar reflete apenas as condições naturais do terreno que favorecem a erosão (OLIVEIRA; CASTRO, 2004). Os levantamentos de suscetibilidade de uma área buscam destacar um ou mais fenômenos ou comportamentos que são indesejáveis. O DAEE/IPT (1990), por exemplo, espacializa a suscetibilidade à erosão laminar preliminar do terreno com base em fatores naturais, como erodibilidade e declividade. E com a correlação da suscetibilidade à erosão laminar preliminar mais a erosividade e o comprimento das encostas chega-se à definição final e espacialização da suscetibilidade à erosão laminar. Trata-se de um método qualitativo satisfatório, pois permite localizar áreas de maior e de menor suscetibilidade (BLOISE et al., 2001).

Já a erosão linear possui uma dificuldade maior de identificação, sendo recorrente a identificação de forma supervisionada, avaliando as áreas mais suscetíveis. Pode ocorrer tanto em áreas rurais como urbanas e periurbanas, bastando a concentração de fluxos hídricos e sua interceptação do nível freático (IPT, 1986). A princípio é indicada a elaboração da compartimentação morfopedológica, que se baseia na análise simplificada da paisagem (geologia, geomorfologia, pedologia), de modo a identificar áreas homogêneas que correspondem a compartimentos definidos, segundo o proposto por Tricart e Kilian (1977) e Castro; Salomão (2000) (IPT, 1986). Gera conhecimento sobre o meio físico em um curto espaço de tempo e recursos relativamente pequenos para obter o cruzamento dessas variáveis (SALOMÃO, 2015).

A identificação e cadastramento das ravinas e voçorocas devem ser realizados por meio de interpretação de fotografias aéreas ou imagens de satélite, idealmente de alta resolução. O cruzamento da suscetibilidade com o mapa de focos auxilia a identificar os compartimentos e respectivas variáveis que favorecem o processo. Quanto ao mapeamento de focos, houve alguns avanços na identificação automatizada dos focos erosivos lineares em imagens de satélite, sobretudo os de maior porte, visto até há pouco tempo como uma lacuna nas pesquisas, no entanto, é ainda pouco difundido (PASSOS, 2017).

Questões de suscetibilidade e de uso implicam na ocorrência da erosão, no entanto, estudos desenvolvidos em todo o mundo apresentam uma expectativa de que o uso da terra tenha um impacto maior sobre a erosão do que a questão climática, cujos principais estudos já desenvolvidos na Europa, com as mais variadas técnicas de estratigrafia de alta resolução, datação arqueológica de cerâmica, madeira e carvão vegetal, apontam que os principais períodos de erosão ocorreram associados a uma combinação de desmatamento, sobre o uso da

terra e alta frequência de eventos de precipitação extrema (VALENTIN; POESEN; YONG, 2006).

É válido expor que há o estudo de risco, que também é uma forma de análise que leva em consideração a suscetibilidade à erosão e o tipo de uso da terra apresentado, sendo o risco uma possibilidade real de ocorrer a erosão e causar danos, sobretudo em função do uso e planejamento ou manejo inadequado. O risco deve ser entendido como probabilidade imediata de ocorrerem danos e perdas, como mortos, feridos, edificações destruídas ou danificadas, resultantes da relação entre um perigo natural e a vulnerabilidade social local (UNDP, 2004; ALMEIDA, 2011).

Diante das diferentes formas de estudo e condicionantes correlatos aos processos erosivos, o planejamento de forma conservacionista torna-se fundamental e parte de todo esse pressuposto aqui preconizado, pois leva em consideração um sistema de exploração racional e eficiente que assegure a continuidade da capacidade produtiva de um solo (PRUSKI, 2010), sendo importante que haja instrumentos que possam oferecer subsídios às decisões relacionados ao planejamento de uso das terras, seja no âmbito regional como no local (BLOISE et al., 2001).

2.4. Erosão hídrica: Escalas e métodos de estudo

De forma recorrente, a erosão tem sido tema em diversas áreas de atuação com enfoque e objetivos diversos. Entretanto, tais estudos quase sempre são pontuais e desconsideram as variáveis espaciais e temporais que interferem na dinâmica regional do fenômeno (BACELLAR, 2000). Por outro lado, as técnicas de mensuração de erosão diferem tanto em escalas espaciais como temporais, havendo na atualidade razões para mensuração de erosão, uma delas sendo a alocação de recursos de conservação e desenvolvimento de regulamentos, políticas e programas de conservação (STROOSNIJDER, 2005).

A erosão ocorre em detrimento de diversas variáveis ligadas à constituição da paisagem, e em estudo que envolva variáveis que compõem a paisagem, em que a noção de escala é inseparável, como a escala têmporo-espacial de inspiração geomorfológica de Cailleux e Tricart (1952), utilizadas com base em fenômenos geográficos (BERTRAND, 2004).

Por um longo período foi dada prioridade à pesquisa para abordagem das questões da erosão na escala da parcela de *rill* e *inter-rill* (*linhas e entrelinhas*), no entanto, na atualidade

é crescente o interesse internacional dos cientistas por impactos externos causados pela erosão do solo em escalas espaciais mais abrangentes do que somente na parcela, reconhecendo que há um aumento da exploração dos recursos da terra e que a degradação por erosão aumenta a produção de sedimentos e perde elevadas cargas de nutrientes que são levados no escoamento e reduzem a qualidade do solo e da água (VALENTIN; POESEN; YONG, 2005). Há uma variação da escala para processos no meio ambiente, como os processos biofísicos que controlam a fisiologia e morfologia das plantas que frequentemente dominam variações de escala, ligada a competição por nutrientes, luz e água em diferentes solos, já os processos da paisagem como os climáticos, geomorfológicos se enquadram em diferentes escalas espaciais e temporais (VELDKAMP, et al.; 2001).

Processos erosivos e fatores que os condicionam variam de acordo com a escala em que estão sendo estudados (MORGAN, 1942). A erosão tem condicionantes diversos, podendo-se afirmar que é um tipo de degradação que pode ocorrer em variados ambientes e condições do planeta, atingindo desde pequenas a grandes áreas. Kirkby et al., (2000) propõem um modelo entre fatores condicionantes e erosão, expondo o fator social, econômico e político; uso do solo, clima, vegetação e suas propriedades, litologias, solos, topografia e água.

Pesquisas em escala estadual que trabalhem a temática da erosão hídrica são importantes, porém limitadas. Veldkamp et al., (2001) afirmam que uma análise em múltiplas escalas, espacialmente explícita pode subsidiar o planejamento. Para o desenvolvimento de estudos que abordem múltiplas escalas existem ferramentas de SIGs bastante eficientes que auxiliam na análise. Vrieling (2006) aponta que o sensoriamento remoto é importante como ferramenta, o qual vem sendo utilizado durante os últimos 30 anos. Já em um estudo multiescalar o método se associa a abordagens morfodinâmicas. Baccaro (1999) explica que nesse caminho o primeiro nível de abordagem implica numa cartografia geomorfológica identificando formas do relevo de agradação e denudação, um trabalho de caráter regional considerado imprescindível na compreensão morfodinâmica das unidades geomorfológicas que compõem a área. Isto fornece subsídio para identificar áreas representativas do fenômeno, onde há a possibilidade de verticalizar os estudos dos processos erosivos, abordando-os em uma escala local ou pontual, podendo ser alvo ainda de levantamentos específicos de focos erosivos, de monitoramentos e outros tipos de estudos.

A análise multiescalar envolve, como o nome diz, mais de uma escala de abordagem, os quais podem contribuir para a avaliação da variação espacial dos fenômenos e, por consequência, dos atributos que compõem cada dimensão de abordagem. É ressaltado que não

há escala mais ou menos válida, pois que a realidade está contida em todas elas, e a mudança de escala não é uma questão apenas de recorte métrico, mas de transformação qualitativa do fenômeno que precisa ser explicado (CASTRO, 2012). Stroonsnijder (2005), ao expor a possibilidade de medição da erosão aponta cinco escalas espaciais para estudo da erosão hídrica induzida por atividade antrópica: 1 – Escala pontual para erosão de salpicos; 2 – Escala de parcela; 3 – Escala de encosta para deposição de sedimentos; 4 – Escala de campo para canais; 5 – Escala para bacia hidrográfica. Ao discorrer sobre cada uma, Stroonsnijder (2005) aponta ainda uma sexta escala, a regional, para sedimentos em suspensão. O autor ressalta que o ser humano induz muitos processos erosivos os quais operam em diferentes escalas, fazendo-se necessário definir técnicas adequadas para medir a erosão em escalas variáveis. O autor chama a atenção para a existência de uma crise nas medidas de erosão porque existem dados empíricos insuficientes de qualidade adequada, e que isso ocorre por questões como a falta de fundos de financiamento de pesquisas, de novas tecnologias e de pessoas qualificadas para a área.

A produção de conhecimento de erosão pode variar na abordagem segundo o objetivo proposto, pois, um estudo que possua uma variabilidade de dados que vai da escala local à global necessita de entendimento dos componentes da paisagem que vai para além do foco erosivo em si. A terra é um sistema que tem unidades em sua montagem que estão geograficamente e geneticamente relacionadas (CHRISTIAN, 1958). Nesse mesmo sentido, o reconhecimento da interdependência das facetas que compõem o ambiente tem um papel importante, pois que não se limita a procedimentos para inventariar, mas da manifestação das suas características sistêmicas no conjunto de componentes, que podem servir para diagnosticar e determinar diferentes usos potenciais e, do ponto de vista da paisagem, favorecer a visão do conjunto (BERNALDEZ, 1981). Assim, para o desenvolvimento de estudos de fenômenos no ambiente, como a erosão, foram desenvolvidas formas para abordar as diferentes variáveis que compõem o fenômeno, buscando o entendimento de sua ação de forma individual e na composição geral, em diversas escalas. O processo de criação de modelos que tratam a questão da erosão está intimamente ligado aos condicionantes que se atribui ao processo erosivo.

O conhecimento do estado atual de erosão numa determinada região, assim como o prognóstico de sua evolução é um avanço decisivo na tomada de decisão do governo. Para constituir com a base técnica da priorização de ações do poder público colabora-se ao expor questões metodológicas em diagnósticos regionais de erosão (OLIVEIRA, et al., 1987). Há uma grande dificuldade no reconhecimento, descrição e quantificação da erosão e

informações limitadas sobre magnitude e frequência dos eventos que causam erosão, as abordagens comumente usadas estão nas mesmas escalas espaciais e temporais de muitas pesquisas, observando que os modelos precisam ser desenvolvidos para muitas finalidades e em muitas escalas (BORDMAN, 2006).

O fenômeno da erosão visto em escala regional e depois em local varia bastante, pois na escala regional pode haver componentes da paisagem que favorecem a identificação da suscetibilidade e na escala local pode ser estudada a sua feição geométrica real e a perda do solo, especificamente. A escala cartográfica é vista como uma estratégia de aproximação do real, uma representação reduzida do espaço como forma geométrica, entretanto há também a escala geográfica, que exprime a representação das relações que a sociedade mantém com as formas geométricas e os padrões de reconfiguração sócioespacial dos territórios humanos construídos (CASTRO, 2012).

Para a escala de abordagem em estudos dos processos erosivos em bacias hidrográficas de ambientes de clima tropical, como os característicos de áreas de Cerrado brasileiro, há a necessidade de reflexão para adequação da escala têmico-espacial, havendo a necessidade de levar em conta aspectos geológicos, geomorfológicos, pedológicos, biogeográficos e antrópicos (BACCARO, 1999).

Em síntese e em termos conceituais pode-se resumir o exposto sobre o processo erosivo e seus condicionantes como proposto por Lal (2001), conforme adaptado na Figura 5.

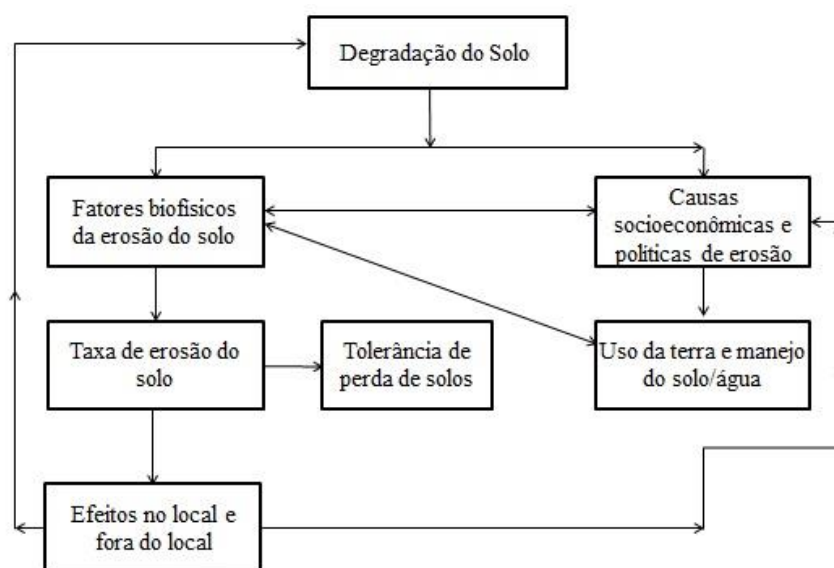


Figura 5. Interação entre fatores biofísicos e causas socioeconômicas e políticas sobre a taxa de erosão e severidade da degradação do solo.

Fonte: Adaptado de Lal (2001).

E em termos metodológicos, pode-se resumir a abordagem multiescalar como proposto por Nunes (2015) em modelo conceitual de base física, ao contemplar escalas sucessivas de aproximação do processo erosivo com base na análise integrada, como representada na Figura 6.

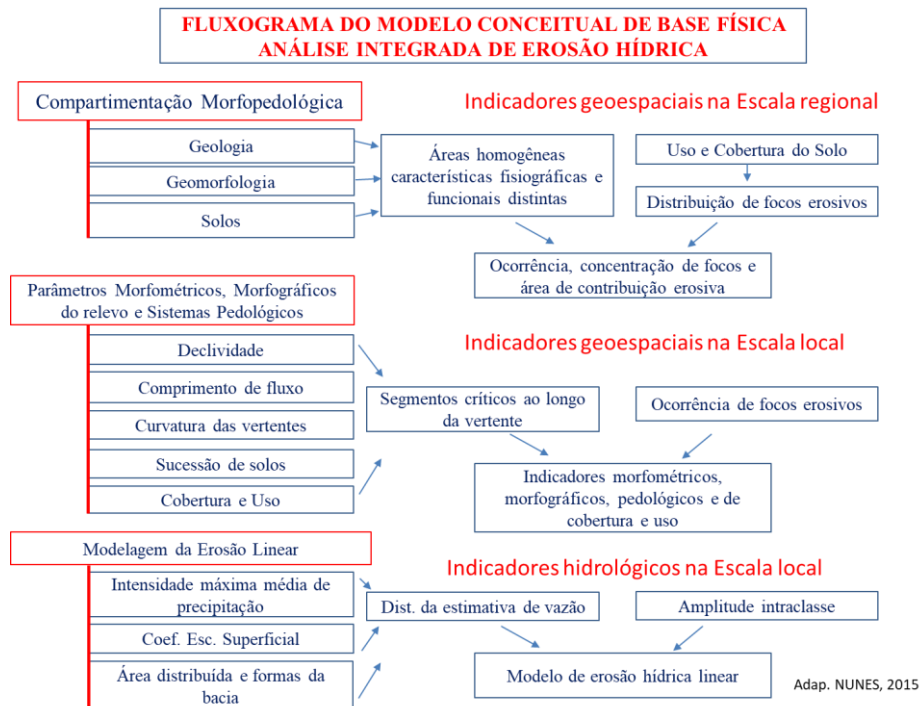


Figura 6. Fluxograma das etapas sucessivas de aproximação o estudo da erosão.

Trabalhando com ferramentas de SIG, na busca de uma espacialização que apresente os indicadores geoespaciais do processo e que possibilite a análise integrada dos fatores que condicionam a ocorrência de processos erosivos, é que tornam a abordagem multiescalar e a busca de acurácia dos dados.

O nível de análise no estudo de um fenômeno de uma escala regional para uma local possui uma articulação das bases de informação segundo cada escala, necessitando a compatibilização, para que não ocorra distorção da informação a ser gerada. Lacoste (1929) já afirmava que um mesmo fenômeno estudado em escalas diferentes possui nível de análise espacial também diferente. Importante enfatizar que a escala é a medida que confere a visibilidade ao fenômeno, no entanto não se esgota como projeção gráfica, e sim como mediadora da pertinência da ligação entre unidade de observação e um atributo a ela associado (CASTRO, 2012).

O aprofundamento e ampliação de estudos são fundamentais em diferentes escalas para propiciar dados relevantes para a ciência e para políticas públicas territoriais voltadas uso e manejo do recurso solo, essencial para manutenção da vida humana. E o conhecimento do território de Goiás e Distrito Federal tanto em seus aspectos físicos, como de uso ocupação, se faz importante por seus ambientes estarem ligados intrinsecamente ao uso econômico do recurso solo.

CAPÍTULO 3

O ESTADO DE GOIÁS E DISTRITO FEDERAL E OS CONDICIONANTES EROSIVOS

3.1. Aspectos Físicos

Como exposto até aqui, a erosão é um fenômeno natural que ocorre desde a formação da Terra e é atuante na esculturação do relevo. No entanto, é um processo que pode ser intensificado ou mesmo induzido por atividades antrópicas. É quando se torna um dos principais tipos de impactos negativos ao ambiente e considerado o maior em área na escala global (FAO, 2015). Os impactos da erosão do solo envolvem toda a sociedade por estar intimamente relacionados aos prejuízos ao ambiente e à perda de produtividade de culturas, o que significa que o controle, sobretudo preventivo, é fundamental para garantir tanto a segurança alimentar como a proteção ambiental (MARIA, 2010). Para tanto, conhecer os aspectos físicos de um território é fundamental com vistas à identificação das áreas suscetíveis, isto é com potencial natural para desenvolver o processo e, ou já estão vulneráveis, sobretudo visando o planejamento de uso ocupação, o (re) ordenamento territorial, de modo a evitar a degradação ambiental.

Neste capítulo é apresentado os aspectos físicos do território do estado de Goiás e Distrito Federal, área de estudo. Os dados expostos são considerados fundamentais para a compreensão do potencial erosivo hídrico linear do território, em termos dos componentes suscetíveis que auxiliam na identificação de ambientes de maior potencial de instalação da erosão hídrica.

3.1.1. Localização e breve histórico da ocupação

O estado de Goiás (GO) e Distrito Federal (DF) estão situados na porção central do Brasil e integram a região Centro-Oeste do País. Seu principal tipo de cobertura vegetal original é o Cerrado, hoje parcialmente convertido, sobretudo em atividades agropecuárias. Localiza-se entre as Latitudes 12°23'30" e 19°29'52" (Sul) e as longitudes 45°54'30" e 53°15'14" (Oeste) e GO abrange aproximadamente 340.106,492 km² e o DF 5.780 km² (IBGE, 2010) (Figura 7).

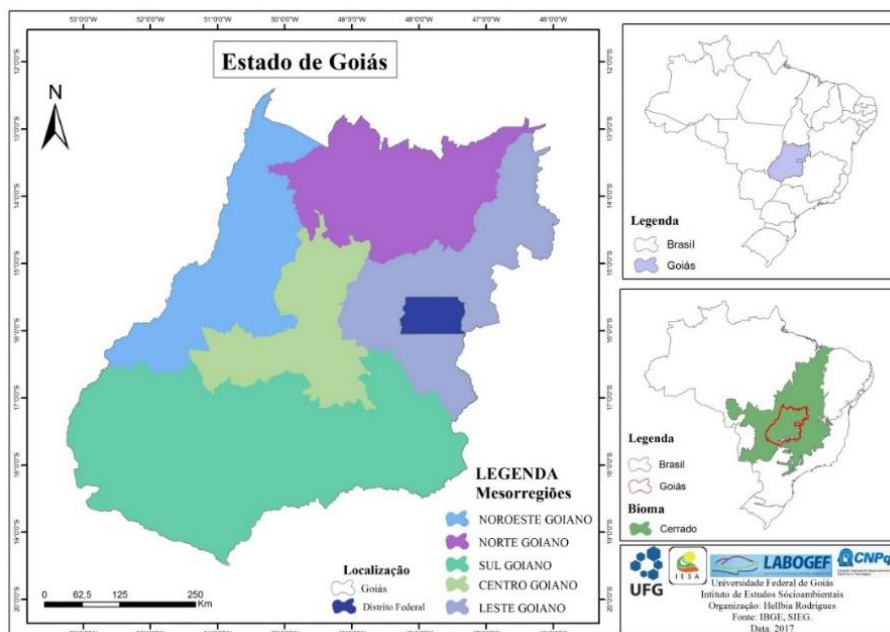


Figura 7. Localização de Goiás com suas cinco mesorregiões e o Distrito Federal.

O estado de Goiás está subdividido em cinco mesorregiões, a saber: Noroeste Goiano; Norte Goiano; Centro Goiano; Leste Goiano e a mesorregião do Sul Goiano, esta a maior em extensão territorial. Abriga uma população aproximada de 6.003.778 segundo censo de (2010) e com estimativa para (2019) de 7.018.354 pessoas, distribuída em 246 municípios, dentre os quais se destaca Goiânia, a capital, com 1.302.001 habitantes segundo censo de (2010) e com estimativa para (2019) de 1.516.113 (IBGE, 2018). No Distrito Federal de Brasília, capital federal, onde predominam serviços terciários e a administração pública federal, o contingente populacional é de 2.570.160 habitantes e com estimativa para (2019) de 3.015.268 habitantes (IBGE, 2018).

Historicamente, a atividade agropastoril era e ainda é a principal atividade econômica praticada no estado de Goiás. Um dos seus mais importantes povoamentos deu-se com a corrida do ouro, no período colonial, de meados do século XVII ao XIX. Subsequentemente, a agropecuária tradicional há substituído nos séculos XIX e principalmente no XX (GOMES; TEIXEIRA NETO; BARBOSA, 2004). Assim, o número de cidades existentes em Goiás na década de 1920 associa-se ao fluxo intenso de imigrantes que buscavam inicialmente as terras ricas dos vales dos rios Paranaíba, Meia Ponte e dos Bois, que possuíam vetores como a estrada que ligava essa região ao sul do país (atualmente a porção sul de BR-153), e a construção da estrada de ferro que facilitava o deslocamento para a direção sul de Goiás (GOMES; TEIXEIRA NETO; BARBOSA, 2004). Posteriormente, já nos anos 60 do século

XX, com a construção de mais vias para o escoamento comercial, Goiás passou a contar com uma logística, além da localização e pelas terras boas e baratas, que atraiu também numerosos empresários, considerando a modernização da agricultura e respectivas frentes de expansão associadas à nova fronteira agrícola do País, o Cerrado (SILVA; PIETRAFEZA; SANTOS, 2011). Com essa ocupação mais recente de Goiás ligada à expansão da fronteira agrícola moderna, a forma de histórica de apropriação e uso das áreas do estado de Goiás incorre em movimentos conhecidos como frentes de expansão e frentes pioneiras (MARTINS 1997). Para este autor, as frentes se distinguem em frente de expansão, aonde há um deslocamento populacional em busca de novas terras para produção de subsistência ocupando áreas antes não ocupadas, e a frente pioneira, em que a terra passa a ter valor e a produção comercializada, assim como o próprio nome exprime, é marcada pelo uso da mão-de-obra dos peões assalariados.

O período de maior intensidade de ocupação das terras do estado de Goiás deu-se em meados da década de 1970, quando houve intervenção direta do Governo Federal e Estadual na implementação de projetos que incentivavam a expansão das fronteiras agrícolas para ocupação das terras (GOMES; TEIXEIRA NETO; BARBOSA, 2004). As tecnologias ditas modernas (correção, adubação, mecanização e outras) foram um grande aliado da expansão agrícola, inspirada na Revolução Verde da década de 1960 no mundo, cujo principal objetivo era o aumento da produtividade agrícola, utilizando melhoramento genético para as espécies tornarem-se mais resistentes, além de insumos para aumento da produção e produtividade (BRUM, 1988).

Os principais planos e programas que o Governo Federal criou na década de 1970 focaram as áreas de Cerrado, até então praticamente ocupadas de modo disperso por populações tradicionais. Os de maior destaque foram o II Plano Nacional de Desenvolvimento (IIPND) e seus programas, como o Programa de Desenvolvimento do Cerrado (POLOCENTRO) e o Programa de Cooperação Nipo-Brasileira de Desenvolvimento do Cerrado (PRODECER) (GOMES; TEIXEIRA NETO; BARBOSA, 2004). O avanço da fronteira agrícola procedente do Sul e Sudeste do País no Cerrado deu-se de Sul para o Norte e Oeste, sobre áreas consideradas até então de baixa fertilidade, por muito tempo, mas que com os insumos da Revolução Verde, possibilitando o aumento da produção e da produtividade, sobretudo de grãos, como soja e milho (SILVA et al., 2013).

Entretanto, esses programas de modernização agropecuária não levaram em conta os impactos ambientais, principalmente em áreas que demandariam cuidados com a supressão vegetal e a implantação das vias de circulação (FARIA; CASTRO, 2006), onde elementos

como declividade, proximidade de canais de drenagem, área de nascentes, apresentavam potencial de desenvolvimento de processos de erosão dos solos (CASTRO, et al., 2004; BARBALHO e CASTRO, 2014). As áreas mais frágeis em geral são as que apresentam solos rasos, declives mais acentuados e relevos mais movimentados, em que não raro podem existir Áreas de Preservação Permanente (APPs).

As áreas de Cerrado sofreram grande pressão ambiental da agropecuária, por suas condições naturais favoráveis, como o relevo de extensas chapadas e chapadões de baixo declive, facilitando a motomecanização e solos que, apesar de espessos e da acidez elevada podiam ser corrigidos e adubados, o que lhes conferiu a identificação de “celeiro do mundo” e grande conversão agropecuária (SILVA, et al.; 2013), mesmo de áreas com potencial erosivo, sobre as quais é sabido que quanto maior e mais densa for sua cobertura vegetal, maior proteção do solo, com relação ao impacto das gotas de chuva, e menor a propensão de ocorrência de erosão hídrica e suas consequências (PRUSKI, 2010).

O gerenciamento do uso e manejo do solo é fundamental a manutenção e conservação adequada da cobertura, mas isso não foi feito adequadamente para o Cerrado, pois é um bioma que apresenta conversão de cerca de 56% de sua área total (MMA, 2015), diversos estudiosos evidenciam tanto impacto de fragmentação no Cerrado, quanto de erosão, por intervenção inadequada, pesquisas como de Cabacinha; Castro, (2010), Faria; Castro, (2010), Faria, et al., (2012), Barbalho; Castro (2014). Atualmente, o estado de Goiás experimentou uma nova fase da expansão, promovido pelo avanço da monocultura da cana-de-açúcar que ocorreu de 2006-2011. Essa nova fase é apontada por Pietrafesa et al., (2011) como a terceira marcha para o oeste brasileiro (a mineração tendo sido a primeira e a modernização agrícola a segunda), promovendo novas mudanças na paisagem na região do bioma Cerrado, numa contradição sócio-econômica-ambiental.

A seguir são apresentadas as características do meio físico e do uso e cobertura do estado de Goiás de modo a entender melhor onde e porque a erosão se instalou.

3.1.2. Geologia

As rochas são o principal material de origem dos solos, sendo importantes na determinação do seu comportamento geomorfológico, agrônômico e geotécnico, pois que suas características influenciam a formação do solo e do relevo (OLIVEIRA, 2008). Nesse aspecto, o Brasil assenta-se sobre a Plataforma Sul-Americana que possui dois domínios geológicos extensos, o pré-Brasiliano e o Brasileiro. A porção central e centro-oriental do Brasil é

sustentada por litologias essencialmente do domínio Brasileiro do Neoproterozóico, com 8 a 11 províncias. O estado de Goiás, em particular, assenta-se sobre duas províncias: (a) a Faixa Tocantins, do domínio Brasileiro, Neoproterozóico, 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 basicamente à porção sudoeste do Estado (LACERDA FILHO; SILVA; OLIVEIRA, 2000).

Apesar da carência de dados para Goiás e Distrito Federal, foi realizada uma compartimentação Geotectônica utilizando de informações geofísicas condensadas, as quais apontam para um cenário diversificado (LACERDA FILHO; FRASCA, 2008). A litologia é um importante fator para o presente estudo, com base nos litotipos. Cavalcanti; Corrêa (2016) afirmam que a caracterização das localidades dentro de uma mesma paisagem pode apresentar condições distintas para a formação e variações nos litotipos, bem como na presença de condicionantes dos padrões de drenagem e podem ser observadas na Figura 8 e Tabela 1 que ilustram os dados de Litotipos para todo o estado de Goiás e Distrito Federal.

Tabela 1. Litotipos do estado de Goiás.

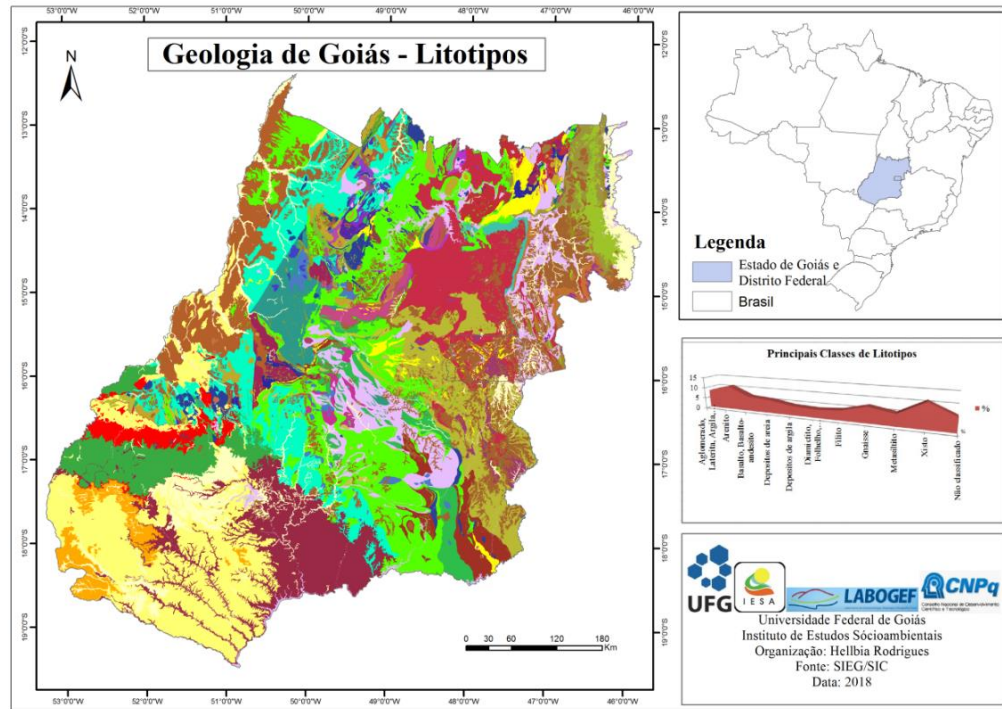
LITOTIPOS	Km	%
Aglomerado, Laterita, Argila, Areia	28.956,17	8,36
Arenito	38.506,95	11,12
Basalto, Basalto-andesito	23.576,11	6,81
Depósitos de areia	21.071,93	6,08
Depósitos de argila	14.898,55	4,30
Diamictito, Folhelho, Arenito, Siltito	13.233,30	3,82
Filito	15.871,80	4,58
Gnaíse	25.199,29	7,28
Metasiltito	18.478,37	5,33
Xisto	38.814,71	11,21
Não classificado	21.787,44	6,29

As classes com maior representatividade em área são 11. A maior representatividade é a classe de Xisto com 11,21% da área total do Estado, seguida pelos Arenitos com 11,12% e o mosaico de Aglomerado, Laterita, Argila e Areia com 8,36%, (Tabela 1).

A relação dos litotipos com os solos se dá de forma intrínseca, pois são resultantes das rochas que compõem a litosfera (OLIVEIRA, 2008). Assim, os solos associados às litologias é que respondem mais pelo potencial erosivo.

Os arenitos estão localizados na porção sul e sudoeste do estado de Goiás como pode-se observar na figura 8. Os arenitos desta área é composto pelos grupos Bauru (Cretáceo) e São Bento (Triássico), da Bacia Sedimentar do Paraná, muito importantes para a recarga dos aquíferos, sobretudo do Botucatu (SAG – Sistema Aquífero Guarani) e do Bauru (SAB –

Sistema Aquífero Bauru). Os arenitos são areia litificada e, compostos principalmente pelo quartzo, podendo conter feldspatos e fragmentos de outras rochas. As ações intempéricas podem destruir os minerais de maior instabilidade e os quimicamente mais estáveis são enriquecidos.



LEGENDA
Geologia de Goiás e Distrito Federal - Litotipos

Actinolito	Dolomito	Metadiorito	Riolito, Metavulcânica félsica
Agglomerado, Laterita, Argila, Areia	Dunito	Metagabro	Sericita filito carbonoso
Anfibólio	Fengita-quartzo milonito	Metagabronorito	Sericita xisto, Metaconglomerado
Anfibolito	Filito	Metagranito, Metagranodiorito	Sericita-quartzo xisto
Anortosito, Gabro, Olivina gabronorito	Folhelho	Metagrauvaca, Metabasalto, Xisto	Serpentinito
Arcóseo	Formação ferrífera	Metapelite	Sienogranito
Arenito	Gabro	Metaperidotito	Siltito
Argilito siltico, Folhelho	Gabronorito	Metapiroxenito	Talco xisto
Argilito, Arenito, Depósitos de areia	Gnaiss	Metaquartzo sienito	Tonalito
Basalto, Basalto-andesito	Granada	Metariodacito, Metariolito	Trondhjemito
Biotita	Granito	Metariolito	Tufo cinerítico, Metagrauvaca
Calcarenito, Siltito	Granitóide	Metariorito, Conglomerado oligomítico	Turmalina
Calcixisto	Granodiorito	Metasiltito	Ultrabásica
Calcário	Granulito, Hornblenda-clinopiroxenito	Metatonalito	Ultramafito
Cataclasito	Hidrotermalito	Metatufo	Xisto
Clinopiroxenito anfibolito	Hornblenda	Metaultrabásito	
Clorita	Hornblendito, Granada anfibolito	Metaultramáfica, Tremolita xisto	
Clorita xisto	Kinzigitto, Biotita gnaiss	Metavulcânica félsica	
Conglomerado	Komatitito, Serpentinito, Filito	Metavulcânica félsica, Clorita xisto	
Cordierita-silimanita-granada gnaiss	Laterita, Depósitos de areia	Mica xisto	
Dacito, Riolito	Leques aluviais, Arenitos fluviais	Migmatito	
Depósitos de areia	Leucogranito, Biotita monzogranito	Monzogranito	
Depósitos de argila	Marga, Siltito	Muscovita	
Diamictito, Folhelho, Arenito, Siltito	Mármore	Não classificados	
Diorito	Metabasalto	Ortoquartzito	
Dololuto, Dolarenito	Metabásica	Paragneiss	
	Metacalcário	Pegmatito, Granodiorito, Granito	
	Metachert	Piroxenito	
	Metaconglomerado	Quartzito	
	Metadiamictito	Riodacito	

Figura 8. Litotipos de Goiás e Distrito Federal.
Fonte: CPRM, SIEG.

Assim, o quartzo é um mineral estável e abundante e o feldspato instável considerando o clima quente e úmido, como é o caso de Goiás (MACHADO, 2017). Além disso, os arenitos costumam originar solos arenosos de elevada erodibilidade como os Neossolos Quartzarênicos (SALOMÃO, 2015) como mostra a Figura 9.



Figura 9. Arenito do Grupo São Bento/formação Botucatu (tons rosa claro) na base do talude de voçoroca em Mineiros (GO).

Fonte: Acervo LABOGEF (2001).

Os xistos ocorrem frequentemente no grupo Araxá e no grupo Serra da Mesa, ambos na porção Sudeste. O grupo Araxá-Araguaia no Noroeste do Estado. O Xisto é uma rocha metamórfica que tem como principal característica uma mineralogia muito variável, embora predomine a quartzosa. Os xistos originam solos menos desenvolvidos quando o relevo é mais acidentado, de elevada a moderada erodibilidade, como os Neossolos Litólicos e os Argissolos (SALOMÃO, 2015).

Portanto, o xisto e os arenitos são os litotipos de principal ocorrência no estado de Goiás, (figura 10). Mas é nos solos derivados dos arenitos que o potencial erosivo é maior.

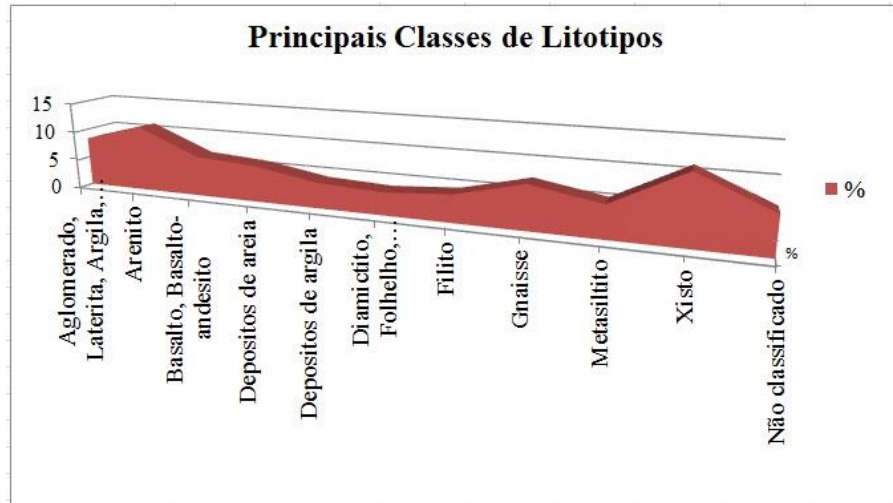


Figura 10. Esquema das principais classes de Litotipos do estado de Goiás.
Fonte: adaptado de CPRM/SIEG

No estado de Goiás há uma diversidade de litotipos e os que se apresentam com maior área de ocorrência são 11. Os Aglomerados, Laterita, Argila e Areia da porção leste, centro e norte do Estado, ocorrem de forma fragmentada nas coberturas Detrito-Lateríticas Ferruginosas e Depósitos Aluvionares. Os Basaltos do grupo São Bento, na porção sudoeste do Estado, na província da bacia sedimentar do Paraná são rochas magmáticas associadas a derrames, constituídas principalmente por piroxênios e plagioclásios, podendo ter também olivina, quartzo, feldspato potássico, nefelina e vidro. Machado (2017) explica que é uma rocha importantíssima para a agricultura, por auxiliar na produção de solos férteis argilosos avermelhados devido ao elevado teor de ferro. Com exceção da areia, as demais associam-se a Latossolos de diferentes classes, em geral Vermelhos e Vermelho Amarelos, de baixa erodibilidade (SALOMÃO, 2015).

Diamictito, Folhelho, Arenito, Siltito são litotipos da formação Itararé, na porção sudoeste da Bacia Sedimentar do Paraná. O Filito ocorre na porção leste no grupo Canastra e nas coberturas detrito-lateríticas ferruginosas, na província do Tocantins. Trata-se de uma rocha metamórfica que podem apresentar diversas estruturas e cuja mineralogia principal é o quartzo, a clorita e a sericita, possuindo uma estrutura foliada (MACHADO, 2017). O Siltito ocorre no extremo nordeste do Estado no grupo Bambuí, província do Tocantins. É composto principalmente por quartzo, feldspato, mica e argilas. Por ser rocha rica em silte, geralmente é encontrada em ambientes de deposição como os fluviais, onde dominam Neossolos Flúvicos e Gleissolos, ambos de baixa ou nula erodibilidade.

Os Gnaisses ocorrem em extensas faixas do norte e centro do Estado, no Complexo Plutônico Arco Magmático de Goiás. São rochas metamórficas com mais de 20% de feldspato

potássico, plagioclásio e ainda, quartzo e biotita, embora possua grande variação mineralógica e grau metamórfico (Figura 11). Os gnaisses associam-se a solos de moderada erodibilidade, como os Argissolos, mas se o relevo for aplainado podem ocorrer Latossolos Vermelho Amarelos nos topos, de baixa erodibilidade.



Figura11. Gnaisses de Itumbiara (GO). **Fonte:** BAYER, 2015.

Os depósitos de Areia encontram-se na porção nordeste (Figura 12) em depósitos colúvio-eluviais, assim como no sul, sudoeste e oeste ao longo do rio Araguaia em depósitos aluvionares, de forma geral interligados às principais redes de drenagem do Estado.



Figura 12. Sedimentos Quartzosos e matéria orgânica em ambiente fluvial do município de Aruanã (GO). **Fonte:** BAYER, 2015.

Assim como os depósitos de Areia, os depósitos de Argila localizam-se na formação Araguaia, em uma faixa na porção oeste, ao longo da planície do rio Araguaia, associando-se a Neossolos Flúvicos, de baixa erodibilidade.

Os litotipos que dão origem a solos de maior potencial de erosão hídrica são os arenitos, localizados na porção sul e sudoeste do estado de Goiás, integrantes dos grupos Bauru e São Bento. Os arenitos deram origem aos Neossolos Quartzarênicos assim como a Latossolos Vermelho Amarelo de textura média a arenosa, ambos considerados solos frágeis. Os arenitos e as coberturas superficiais arenoquartzosas, em qualquer condição climática

produzem solos de textura arenosa, que apresentam elevada macroporosidade, baixa coesão de partículas e capacidade de retenção de umidade e, por consequência, baixa fertilidade. 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, solos de erodibilidade elevada.

Por condicionar diretamente o tipo de solo e o relevo, a litologia também condiciona a erosão, quando dá origem a solos provenientes de rochas ígneas ou metamórficas de composição ácida, rochas sedimentares ou metassedimentares de granulação arenosa fina ou siltosa, embora outros fatores importantes o clima, relevo que também são fundamentais (BACELLAR, 2000).

3.1.3. Geomorfologia

Os dados geomorfológicos contribuem com o estudo em paisagens, como afirma Christofoletti (1980), pois ao analisar as formas e processos do relevo é possível obter conhecimento sobre a dinâmica topográfica, que possibilita tanto a compreensão das formas esculpidas, mas estáveis, ou agradacionais, como das destrutivas ou degradacionais. E no que diz respeito às formas destrutivas um dos principais agentes é a erosão, um processo morfogenético. O relevo atua na regulação do movimento das águas ao longo da vertente, consequentemente na modelagem da paisagem geomórfica.

O estado de Goiás e Distrito Federal possuem extensas Superfícies Regionais de Aplainamento (SRA), delimitadas por Zonas de Erosão Recuante (ZER), dentre outras (Figura 13).

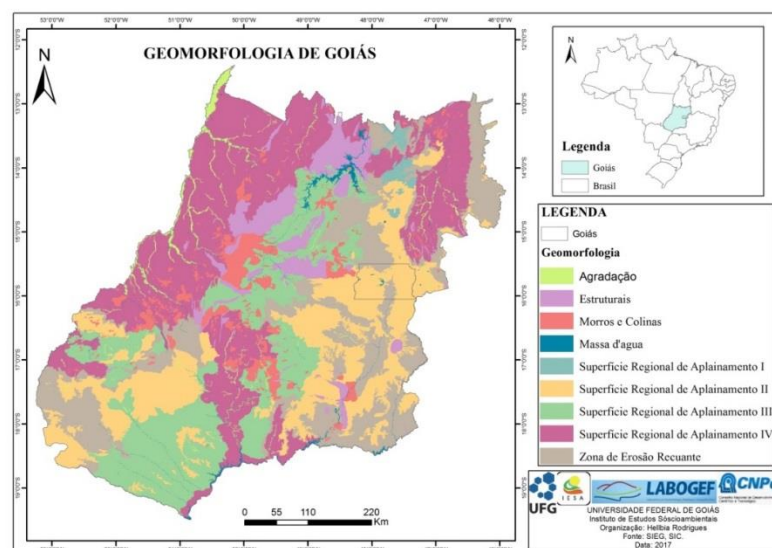


Figura 13. Unidades Geomorfológicas do Estado de Goiás e Distrito Federal.

As SRA são ambientes geomorfológicos relativamente estáveis e parcialmente conservados, onde as formas persistiram por tempo mais longo (desde os Terciário). As ZER são sistemas instáveis que modificam rapidamente com mudanças climáticas ou intervenções antrópicas sem práticas de proteção. Os Morros são elevações médias do terreno, com topos arredondados de amplitude de desnível que varia entre 20 e 60 metros. E as colinas são elevações baixas do terreno com amplitudes que vão de 20 a 60 metros de desnível, em geral de formas convexizadas. As SRA se caracterizam pelos baixos declives, solos espessos e estabilidade geomórfica, o que lhe confere baixo ou mesmo nulo potencial erosivo.

Relevos estruturais são aplicados a ambientes onde ocorrem Morros e Colinas com dissecação muito forte e forte controle litoestrutural, como na porção centro-norte do Estado e relacionam-se a processos denudacionais. Guerra; Guerra (2003) afirmam que a denudação é um processo que se caracteriza pela transformação do relevo mais saliente por efeito conjugado de diferentes agentes erosivos. Os de Agradação podem ser caracterizados como os de acumulação de sedimentos nas zonas de depressão relativa, formando ambientes como planícies. Estas ocorrem, sobretudo na bacia do médio rio Araguaia a oeste do Estado, nos ambientes da planície fluvial com padrão meandriforme.

Em todo do estado de Goiás as SRA se destacam em área, ocupando aproximadamente 68% do território goiano, estando subdivididas em quatro com altitudes decrescentes (Figura 14). As SRA possuem variações de altitude e estão bem distribuídas por todo o Estado, mas a SRAIV é a de maior extensão, localizada sobretudo na porção Oeste, numa faixa contínua até o Norte, embora ocorra localizadamente também na porção Nordeste e Sudoeste.

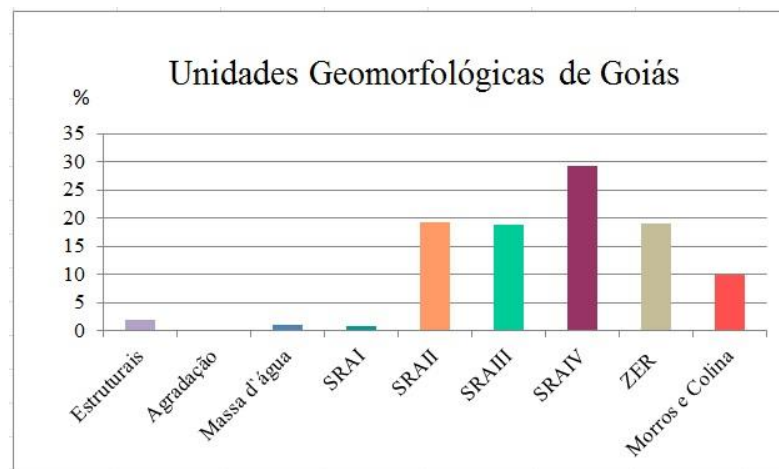


Figura 14. Gráfico das Unidades Geomorfológicas do Estado de Goiás.

Elaboração: Rodrigues, 2017.

Fonte: CPRM/SIEG.

As ZER, que se caracterizam como relevo movimentado, equivalem a aproximadamente 18% da área do Estado, ocorrendo de forma fragmentada na porção Sudeste, Sudoeste, Nordeste e Centro-norte. No Sudoeste são ambientes de domínio de Arenitos e solos de textura arenosa como Neossolos Quartzarênicos, de alta erodibilidade; outra área é o Centro-Norte, ambiente de ocorrência de Xistos e Metasiltitos, com predomínio de Cambissolos de muito alta erodibilidade. Esses ambientes associados à ZER aumentam a suscetibilidade à erosão. Em geral, são áreas de declives acentuados.

A declividade é um fator que exerce influência direta no processo de erosão, visto que condiciona a velocidade do escoamento das águas pluviais em que o material em suspensão é arrastado pela água, havendo também uma preocupação com o comprimento da rampa que quanto maior aumenta a energia cinética (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010). As declividades do estado de Goiás e Distrito Federal podem ser observadas na Figura 15 e na Tabela 2.

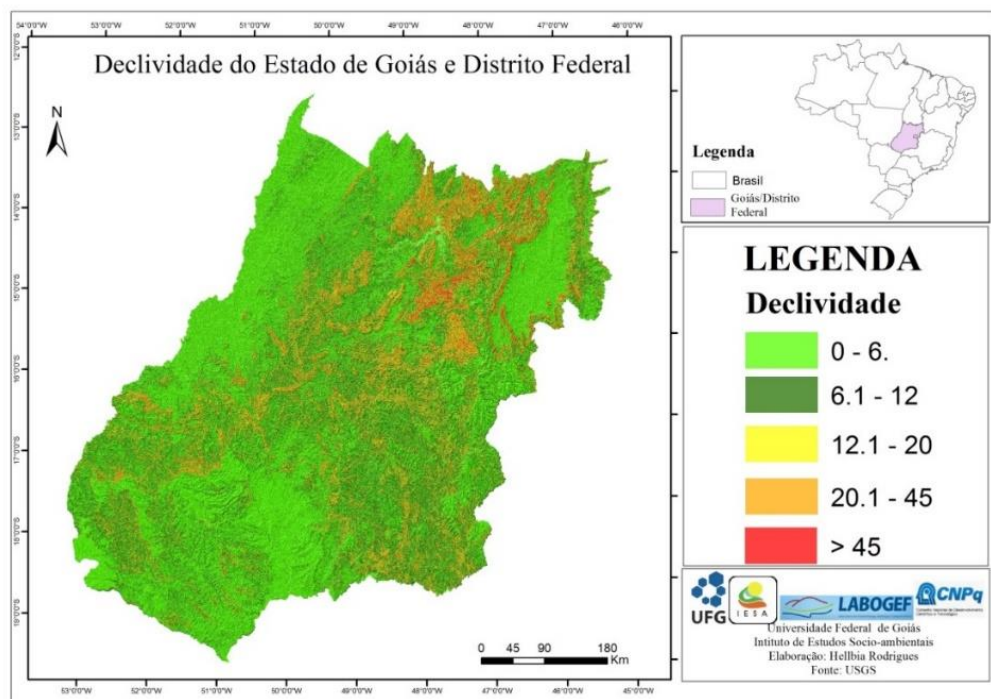


Figura 15. Declividade do Estado de Goiás e Distrito Federal.

Tabela 2. Declividade do estado de Goiás e Distrito Federal.

Declividade (%)	Área Km	Área %
0 - 6	262.535.01,25	75,91
6.1 - 12	55.819.87,32	16,14
12.1 - 20	19.001.60,67	5,49
20.1 - 45	8.372.03,35	2,42

> 45	8.689,59	0,02
Total	345.815.42,20	100

Aproximadamente 76% do Estado possui declividade de 0 a 6%, caracterizada como plana a suave ondulada, associada às SRA, sobretudo a SRA IV, e dominada por Latossolos, de baixa erodibilidade, portanto bastante propícios à atividade agropecuária e ao manejo intensivo, motomecanizado. A segunda classe de maior destaque é a de 6.1 a 12%, ocupando 16,14% da área do Estado, onde também predominam as SRA, em especial a SRA III e II.

Juntas essas duas classes somam cerca de 92 % do território goiano e lhe atribuem um notável potencial de uso agropecuário. 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 correspondem a faixas escarpadas serranas ou das ZER. As declividades que variam de 12.1 a 20% e 20.1 a 45% correspondem a ambientes de declives pronunciados que ocorrem na porção centro-norte, sudeste e sudoeste do Estado, também em ambientes de ZER, mas correspondem um total de 7,91% do território. Assim, pode-se dizer que em termos geomorfológicos o estado não apresentaria elevado potencial erosivo.

3.1.4. Hidrografia e Hidrologia

Os rios são agentes naturais importantes tanto no abastecimento quanto transporte, e sua dinâmica está ligada às condições climáticas, à cobertura vegetal e à litologia, fatores que controlam a morfogênese e, por sua vez, o tipo e volume de carga detrítica a ser fornecida aos rios (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Os recursos hídricos do estado de Goiás e Distrito Federal fazem parte do bloco de oito Estados brasileiros que possuem Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH), e que fizeram parte de um estudo desenvolvido pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos nº32/2003 (MMA, 2006), o qual criou um caderno com regiões hidrográficas para auxiliar na administração dos recursos hídricos do País. O estado de Goiás possui uma densa rede de drenagem, um aspecto natural importante tanto para manutenção da biodiversidade, quanto para as áreas de uso e ocupação. Subdivide-se em 5 (cinco) bacias hidrográficas: São Francisco, Javaés, Araguaia, Tocantins e Paraná (Figura 16).

Como é possível observar na Figura 16, na porção extremo noroeste situa-se a bacia hidrográfica do rio Javaés, que integra a região hidrográfica do rio Tocantins. Na porção centro-leste situa-se a bacia hidrográfica do rio São Francisco, parte da região hidrográfica

Costeira do Atlântico. Todas essas bacias apresentam pouca expressão espacial no Estado. Já na porção norte-nordeste localiza-se a bacia do rio Tocantins, a montante da foz do rio Araguaia, localizado na região hidrográfica do rio Tocantins. Na porção sul e sudeste situa-se a bacia do rio Paraná, localizada na região hidrográfica do rio Paraná. E na porção Oeste, em extensa faixa a região hidrográfica do rio Araguaia. Essas três bacias dominam largamente o estado de Goiás.

A hierarquia fluvial de acordo com consiste em estabelecer a classificação de determinado curso de água no conjunto total da bacia hidrográfica a que pertence (CHRISTOFOLETTI 1980), Com base em Strahler (1952), os canais de primeira ordem que vão desde a nascente até a confluência com um primeiro afluente, são utilizados para se calcular a densidade de rios por bacia hidrográfica e regiões hidrográficas (Tabela 3).

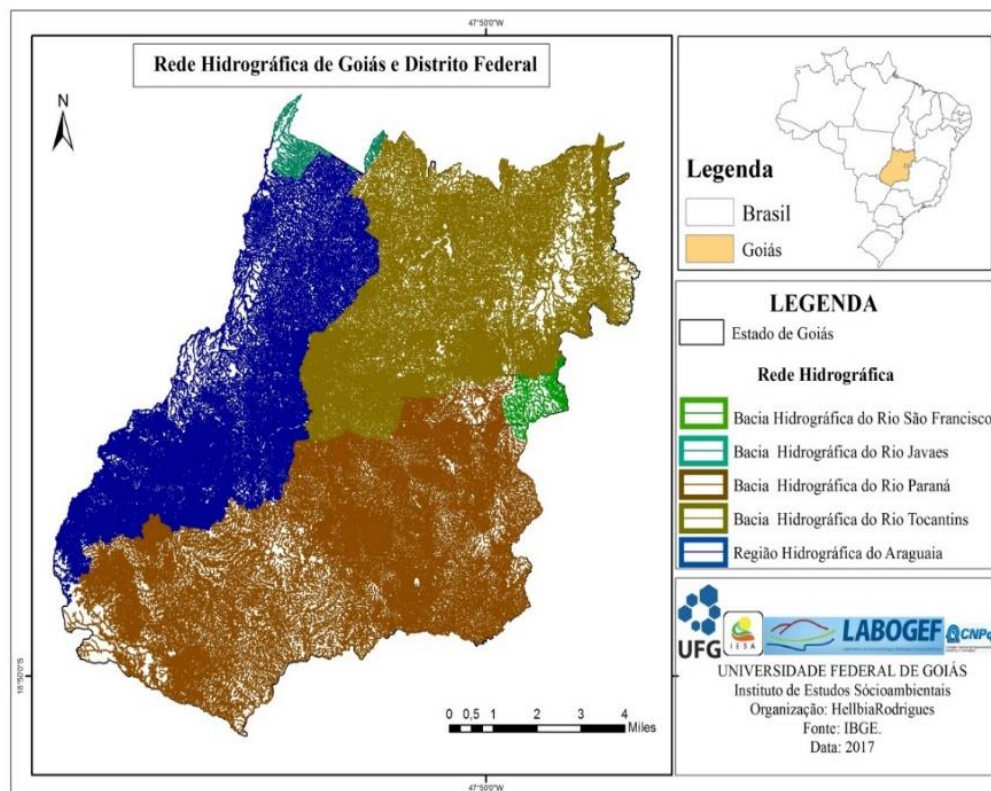


Figura 16. Rede hidrográfica de Goiás e Distrito Federal.

Tabela 3. Densidade Hidrográfica do estado de Goiás.

Bacias Hidrográfica	Área em km ²	Nº de Drenagens 1º Ordem	Densidade
Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco	4.454,408	640	0,1436779
Bacia Hidrográfica Rio Javaes	3.871,705	797	0,2058525

Bacia Hidrográfica Rio Paraná	144.596,235	39.365	0,2722408
Bacia Hidrográfica Rio Tocantins	103.454,733	22.416	0,2166745
Região Hidrográfica Rio Araguaia	89.282,568	38.656	0,4329625
Total	345.659,649	101.874	1,2714081

O ambiente que possui maior densidade hidrográfica é a do rio Araguaia, seguida da do rio Paraná. Na primeira necessita-se cuidado no controle do uso, pois os solos apresentam maior suscetibilidade à erosão, por possuírem menor ou baixa coesão e alta fragilidade em condições de relevo menos acidentado (SANTANA, 2006; ANA, 2006). No setor sul da alta bacia do rio Araguaia, por exemplo, há importantes nascentes, mas já há processos erosivos de voçorocamento que vem sendo estudados há algum tempo, como já exposto (CASTRO, XAVIER, BARBALHO, 2004; BARBALHO, 2006; RODRIGUES, 2010; PONCIANO et al., 2015). A área que possui menor densidade de rios foi a bacia hidrográfica do rio São Francisco localizada na porção centro – leste, que ocupa parte do território do Distrito Federal e parte de Goiás.

Em síntese, as bacias de maior densidade de canais apresenta, em tese, maior potencial erosivo, devido dissecção mais intensa e comumente ativa quando desmatada, Assim, as bacias dos rios Araguaia e Paraná seriam as de maior potencial erosivo.

3.1.5. Pedologia

No estado de Goiás os solos são um recurso fundamental para a economia, pois que é baseada na agropecuária. O Cerrado que ai dominava passou a ser conhecido como o Celeiro do Mundo, devido sua elevada produção de grãos e carne, na forma de *commodities* agrícolas (SANO et al., 2008), embora domine largamente a pecuária.

Os solos desempenham numerosas funções (FAO, 2015), sendo algumas delas muito importantes como a alimentar, a de recarga de aquíferos, de abrigo de biota, de trocas com a atmosfera, em especial do ciclo do carbono. Isso dentre outras funções, como suporte das vias de circulação, sobretudo de estradas rurais que promovem o escoamento da produção e a chegada de insumos, o que lhes confere importância econômica, social e mesmo ambiental (PRUSKI, 2010). Por isso, há uma preocupação crescente com a sua degradação, que afeta a produtividade de áreas agrícolas. Nesse aspecto, a erosão é uma das principais causas dessa degradação, ao promover a sua perda e conseqüentemente comprometer sua qualidade.

O estado de Goiás possui 19 classes de solos, mas a dos Latossolos é considerada dominante, cobrindo aproximadamente 51,25% do território estadual, destacando-se o Latossolo Vermelho, que também é largamente dominante na mesorregião Sul. No restante do Estado os Latossolos se distribuem de forma mais fragmentada. (Figura 17).

Os Latossolos predominam nos topos das SRA, onde a topografia varia de plana a suave-ondulada. São solos muito intemperizados, não hidromórficos e profundos, com um horizonte Bw espesso e pouca diferenciação morfológica entre os horizontes A e B e por vezes o C, variando do vermelho escuro ao amarelado, sendo muito estáveis, (EMBRAPA, 2018), devido sua baixa erodibilidade (SALOMÃO, 2015). Contudo, o desmatamento intensivo e indiscriminado pode levar à sua erosão, com formação de sulcos e até voçorocas, em especial em Latossolos Vermelho Amarelos de textura média, por apresentarem elevada percolação de água ao longo do perfil e elevada dispersão de argila (REATTO, 2008). A tabela 4 apresenta a participação de cada classe de solos no estado de Goiás e Distrito Federal.

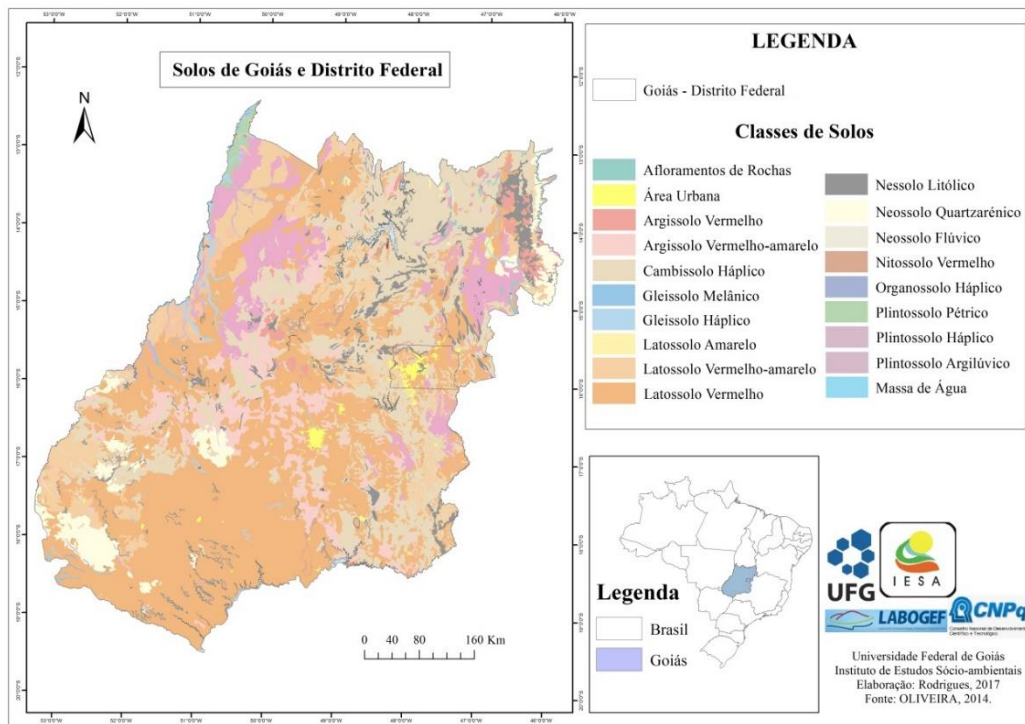


Figura 17. Solos do Estado de Goiás e Distrito Federal. Fonte: Oliveira (2014).

Tabela 4. Solos de Goiás e Distrito Federal.

Classe de Solos	Km2	%	Agrupamentos
Massa de Água	266.093,11	0,76	0,76

Afloramento Rochoso	101.244,91	0,29	0,29
Área não classificada	201.88,32	0,05	0,05
Argissolo Vermelho-Amarelo	23.655.84,17	6,83	
Argissolo Vermelho	441.453,17	1,27	8,11
Cambissolo Háplico	75.224.16,19	21,74	21,74
Gleissolo Melânico	706.76,68	0,20	
Gleissolo Háplico	289.307,84	0,83	1,03
Latossolo Amarelo distrófico	442.405,03	0,12	
Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico	32.391.74,50	9,36	
Latossolo Vermelho	144.486.18,61	41,76	51,24
Nessolo Litólico	13.531.43,74	3,91	
Nessolo Quartzarênico	1.274.048,76	3,68	6,91
Neossolo Flúvico	405.4,86	0,01	
Nitossolo Vermelho	1.389.78,77	0,40	0,40
Organossolo Háplico	15.432,82	0,04	0,04
Plintossolo Pétrico	23.988.50,89	6,93	
Plintossolo Argilúvico	2.652.12,12	0,76	7,96
Plintossolo Háplico	964.38,22	0,27	
Total	345.926.08,43	100	100

Fonte: Oliveira (2014).

Os Cambissolos Háplicos cobrem 21,74% do Estado e concentram-se ao norte, nordeste e de forma bem fragmentada no Leste. São solos que têm horizonte B incipiente subjacente ao horizonte A de qualquer tipo, excluído o chernozêmico, quando a argila do horizonte B é de atividade alta (EMBRAPA, 2018). Corresponde a solo em estágio intermediário de intemperismo, que ocorre em todas as classes de relevo (OLIVEIRA, 2008). Reatto et al., (2008) afirmam que os ambientes que possuem esse tipo de solo deveriam ser destinados a preservação, por se associarem a relevos mais declivosos.

Os Argissolos, que juntos totalizam 8,11% do Estado, se distribuem de forma fragmentada, concentrando-se mais na porção central. Sua principal característica é o incremento de argila no horizonte B, denominado de textural (Bt), que provem do horizonte superficial, tratando-se de argila de atividade baixa (EMBRAPA, 2013). Na paisagem ocupam a porção inferior das encostas, geralmente as côncavas, em relevo que pode variar de ondulado à forte-ondulado. Os Argissolos com mudança abrupta de textura, em nível de subordem, são identificados como abrupto e são os mais suscetíveis à erosão (OLIVEIRA, 2008).

Os Plintossolos representam 7,96% dos solos do Estado, concentrando-se na porção noroeste, na planície do Araguaia e no nordeste do Estado. São solos formados com restrições de circulação da água devido estarem sujeitos à oscilação do lençol freático e, em

consequência, permanecerem saturados sazonalmente. Esses solos apresentam como característica diagnóstica a presença de horizonte plíntico, identificado principalmente por cores mosqueadas, variando de tons desde vermelhos até acinzentados (IBGE, 2006). Se ocorrer mudança textural abrupta denominam-se de Plintossolo Argilúvico abrupático, que favorece a erodibilidade (OLIVEIRA, 2008).

Os Neossolos cobrem 7,60% do Estado e se localizam no Sudoeste e Nordeste, sendo constituídos por material mineral e material orgânico pouco espesso, não apresentando qualquer tipo de horizonte B diagnóstico. Oliveira (2008) ressalta a pouca atuação do processo pedogenético nesses solos, por isso não provocando modificações expressivas do material de origem. Em relação aos Neossolos Quartzarênicos, por serem solos de baixo teor de argila e de matéria orgânica, possuem baixa capacidade de agregação de partículas, sendo muito suscetíveis à erosão por possuir baixa taxa de agregação (EMBRAPA, 2018;). A fragilidade desses solos demanda manejo adequado no intuito de conservação, evitando assim a erosão, pois apresentam erodibilidade muito alta.

Diante do exposto é possível considerar que aproximadamente 30% do estado de Goiás apresentam solos suscetíveis aos impactos de erosão por suas características físicas que produzem maior erodibilidade. A fragilidade dos solos é aplicada mais a solos arenosos, no entanto, os solos frágeis podem ser caracterizados também pela posição que ocupam na paisagem, de baixa resiliência e elevada suscetibilidade à degradação física, química e biológica, sobretudo quando submetidos uso e manejo (ALBUQUERQUE, et al., 2015). Estes autores advertem, no entanto, que mesmo os solos com maior resistência como os de maior teor de argila, podem tornar-se frágeis se o uso e manejo empregados não forem adequados à capacidade de uso da classe. É um conjunto de características que compõem um determinado solo em um ambiente que pode ser parâmetro para identificar situações de maior ou menor fragilidade. O termo solos frágeis está ligado a solos com elevado risco de degradação como é o caso da erosão.

3.1.6. Erodibilidade

Para o estado de Goiás e Distrito Federal, Scopel; Silva (2001) mapearam a erodibilidade (Figura 18). Esses autores utilizaram o nomograma de Wischemeier e Smith (1971), com base nos dados laboratoriais do trabalho de Assis Assunção (1999) e complementados com dados de erodibilidade de Bertoni; Lombardi Neto (1975)

especializaram a erodibilidade utilizando o *Software* AUTOCAD, mas não fizeram o cálculo de área para cada classe.

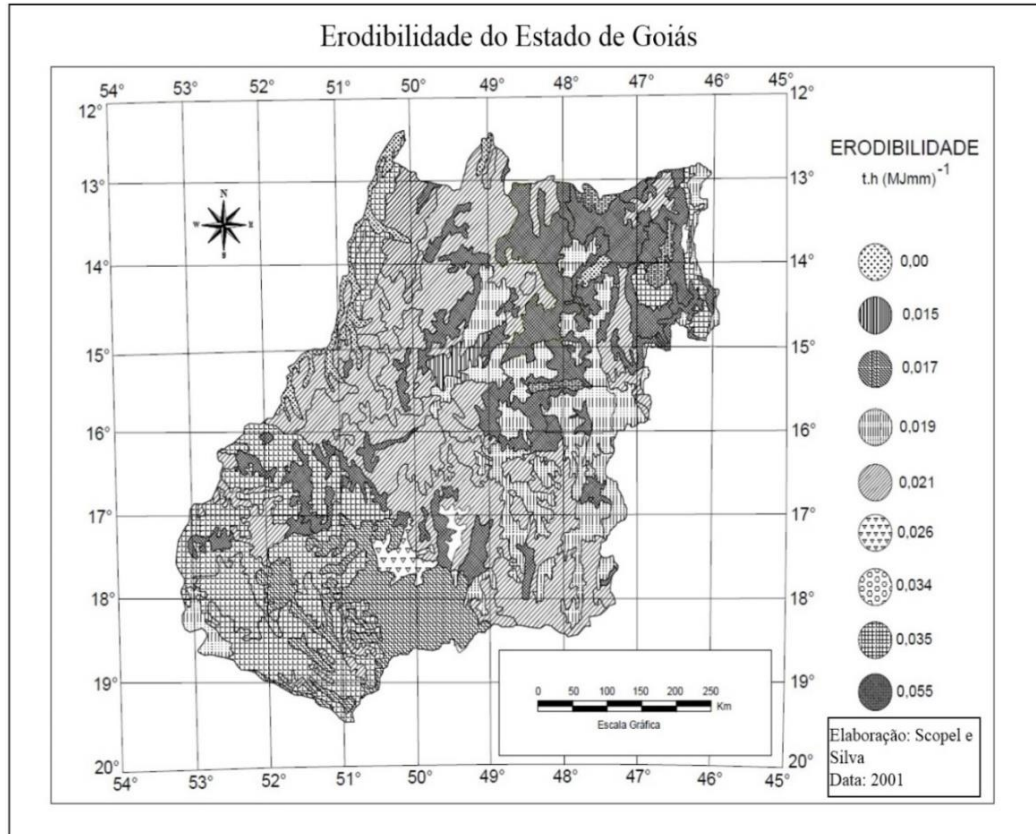


Figura 18. Erodibilidade do Estado de Goiás e Distrito Federal.
Fonte: Scopel e Silva (2001).

É possível observar que no território goiano as áreas de muito alta erodibilidade possuem os valores de 0,055 e ocorrem, sobretudo, na porção Nordeste, associada aos Cambissolos, além de alguns fragmentos ocorrerem também na porção Sul. As áreas de alta erodibilidade alcançam os valores de 0,35 e se localizam em área contínua na microrregião Sudoeste Goiano, onde predominam os Neossolos Quartzarênicos sobre arenitos. Alguns fragmentos dessa classe também ocorrem no extremo noroeste e extremo nordeste. Há uma extensa área na porção sudeste, centro e noroeste de solos com valores de 0,02, que podem ser considerados de média a baixa erodibilidade, sugerindo tratar-se de solos elevado grau de resistência à erosão. Já no Distrito Federal predominam os valores de 0,019, considerados de média a baixa erodibilidade, correspondendo 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 que não são de muito alta erodibilidade.

Em síntese, a alta a muito alta erodibilidade não é uma característica dominante nos solos goianos, pois que ocorrem apenas no Nordeste e Sudoeste do Estado na forma de manchas descontínuas.

3.1.7. Clima

Os fenômenos climáticos podem induzir o processo de erosão do solo, sobretudo a hídrica, associada à temperatura do ar, à quantidade e intensidade da precipitação e à velocidade e direção do vento (BASHKORTOSTAN, 2015).

O estado de Goiás e o Distrito Federal são caracterizados por apresentar clima com duas estações bem definidas, ou seja, ambiente de clima tropical subúmido, que, segundo a classificação de Köppen-Geijer (1990) e adaptada por Setzer (1966) subdivide-se em quatro tipos de clima, dos quais dois são mais significativos : Aw (Tropical e com inverno seco) que domina largamente o território goiano e o Cwa (Subtropical – verão quente e com inverno seco) na porção sudoeste e em pequena porção no nordeste do Estado. Os outros três são apontados como atípicos: o Cwb (Subtropical – Temperado Úmido e com Inverno Seco) localizado entre Anápolis e Goiânia, o Aw (Tropical e com Inverno Seco), que domina o Distrito Federal, e o Am (Tropical com chuvas excessivas e inverno seco) que é um clima típico da região amazônica, ou clima de monção, encontrado em uma pequena porção do norte goiano (CARDOSO; MARCUZZO; BARROS, 2014).

Cardoso; Marcuzzo; Barros, (2014) salientam a necessidade de estudos climatológicos mais detalhados, para uma melhor aproximação da realidade. A utilização desse tipo de estudo é ampla, sobretudo para entender como se distribuem as chuvas, uma das variáveis no estudo climatológico intrinsecamente correlacionada com a erosividade de uma área, que se refere ao impacto que a chuva pode produzir sob um solo em forma de erosão. No estado de Goiás, assim como em qualquer região do mundo, o excesso ou a ausência de chuva afeta o desenvolvimento econômico, por favorecer ou desfavorecer a agricultura, a pecuária, assim como a geração de energia e mesmo a recarga de recursos hídricos interessando ao abastecimento de água (ROMERO; MARCUZZO; CARDOSO, 2014). As condições climáticas do estado de Goiás foram apresentadas em estudo, como elemento de definição estratégica para planejamento com vistas a minimizar os riscos oriundos das alterações nos eventos climáticos extremos (SILVA; SANTANA; PELEGRINI, 2006).

A precipitação é uma variável importante nos estudos climatológicos, pois que auxilia o planejamento de ocupação e atividade de uma região. Nesse sentido, as condições climáticas

do estado de Goiás foram apresentadas em estudo de Silva; Santana; Pelegrini (2006) como elemento decisivo da estratégia de planejamento ambiental e territorial, com vistas a minimizar os riscos oriundos dos eventos climáticos extremos. Em outro estudo realizado por Cardoso; Marcuzzo; Barros, (2014) foram avaliados os dados de precipitação pluvial (chuva) das estações da ANA (105), utilizando apenas 10 anos, de 1989 à 1998, por reduzir o número de falhas (Figura 19).

Os dados espacializados desses autores apontam que a precipitação pluviométrica de maior volume ocorre na região centro-norte e sudeste do estado de Goiás, onde os índices pluviométricos variam de 2400 mm e a 2800 mm, índices esses superiores à média geral de todo o Estado, o que potencialmente conduziria a uma maior erosividade e conseqüentemente maior erosão hídrica nessas áreas. Os meses de maior precipitação do estado de Goiás e Distrito Federal são: Dezembro (275,3 mm), Janeiro (254,4 mm), Fevereiro (217,8), Março (210,8 mm), Novembro (209, 2) e Outubro (116,9) (CARDOSO; MARCUZZO; BARROS, 2014).

Silva; Santana; Pelegrini (2006), também realizaram um estudo climático do estado de Goiás e Distrito Federal, em que foram utilizados 114 pontos de coleta de dados de precipitação pluvial (chuva), igualmente com médias de 10 anos, mas sem apontar o recorte temporal. Os dados de precipitação anual para o estado de Goiás e Distrito Federal podem ser observados na figura (20).

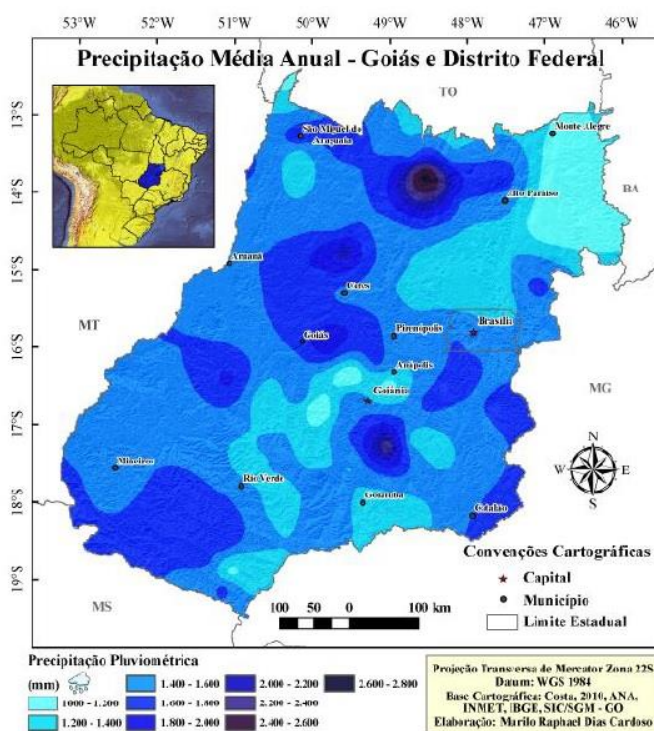


Figura 19. Precipitação Média Anual – Goiás e Distrito Federal.

Fonte: Cardoso (2014).

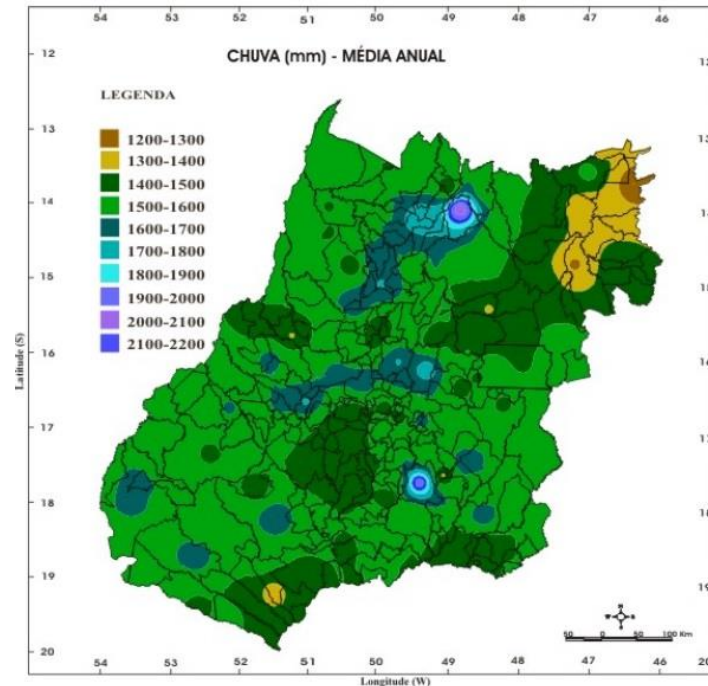


Figura 20. Precipitação Média Anual – Goiás e Distrito Federal.
Fonte: Santana (2006).

O índice pluviométrico médio anual está em torno de 1.532 mm e 95% das chuvas ocorrem no período de outubro a abril (SILVA; SANTANA; PELEGRINI, 2006). Esse índice aproxima-se do apresentado por Cardoso; Marcuzzo; Barros (2014), quando afirmam que a precipitação anual média para toda a área é entorno de 1500 mm. Contudo, a pluviosidade do estado de Goiás é caracterizada por ser crescente do sul para o norte e de leste para oeste. Apesar dos valores máximos de precipitação apresentados por Cardoso; Marcuzzo; Barros (2014) serem superiores aos apresentados por Silva; Santana; Pelegrini, (2006), os dois estudos têm em comum alguns pontos de precipitação mais elevada (epicentros pluviométricos), como na região norte, central e sudoeste do Estado. Ambos evidenciam o regime sazonal de chuvas, uma estação seca e fria e outra chuvosa e quente, trazendo consigo chuvas intensas em curto espaço de tempo, e em área específicas.

Em síntese, algumas áreas apresentam maior pluviosidade e crescem do sul para o norte e do leste para oeste, levando a supor que o norte e o oeste teriam mais chance de desenvolver erosão hídrica, ainda que naturalmente dependendo da erosividade, da erodibilidade dos solos e das geoformas do relevo dessas áreas.

3.1.8. Erosividade

A erosividade é um índice numérico que expressa a capacidade da chuva esperada em uma determinada localização que pode promover impacto de erosão. O cálculo de erosividade foi uma metodologia desenvolvida por Wischemeier; Smith (1978), como parte da equação de perda de solo, representado pelo fator R. Quando desenvolvida não foi para ambiente tropical, por isso para aplicação em ambiente tropical foi adaptada.

Galdino, (2015) utilizou a metodologia de Lombardi Neto; Moldenhauer (1992), para a estimativa da erosividade da chuva na região utilizando a seguinte equação:

$$El = 68,730 \left(\frac{p^2}{p^2} \right)^{0,841}$$

El = média mensal do índice de erosão em $MJ mm ha^{-1} h^{-1}$;

p= precipitação média mensal em mm;

p= precipitação média anual em mm.

Para cada posto pluviométrico usou a erosividade média anual, estimada pela somatória de seus índices mensais de erosão (El) (GALDINO, 2015).

Para calcular à estimativa de erosividade da chuva para Goiás e Distrito Federal. Foram utilizados no levantamento dados de 88 estações pluviométricas, relativos ao período de 1980 a 2010. E a erosividade especializada para Goiás e Distrito Federal pode ser observada na figura 21.

A erosividade para Goiás variou de $7.425 MJ mm ha^{-1} h^{-1}$ a $9.633 MJ mm ha^{-1} h^{-1}$, com média de $8.359 MJ mm ha^{-1} h^{-1}$ (GALDINO, 2015). Os ambientes de maior erosividade encontram-se na região nor-noroeste onde ocorrem Plintossolos, Cambissolos e Argissolos, em terrenos dominados por Morros e Colinas, e elevada precipitação média anual variando de 1700 à 2200mm. Ocorre uma área de alta erosividade também no centro-sudeste, onde os solos são um mosaico de Cambissolos, Argissolos e Latossolos, numa SRA e parte de uma ZER, em ambientes que possuem elevada precipitação média anual variando de 1500 à 2200mm.

O Distrito Federal apresentou erosividade média de $8.024 MJ mm ha^{-1} h^{-1}$; oscilando entre $7.796 MJ mm ha^{-1} h^{-1}$ e $8.348 MJ mm ha^{-1} h^{-1}$ (GALDINO, 2015). Essa erosividade foi classificada como forte, em que a porção Oeste do Distrito foi onde está a área urbana, com maior erodibilidade associada aos Cambissolos e Latossolos, estes na SRA.

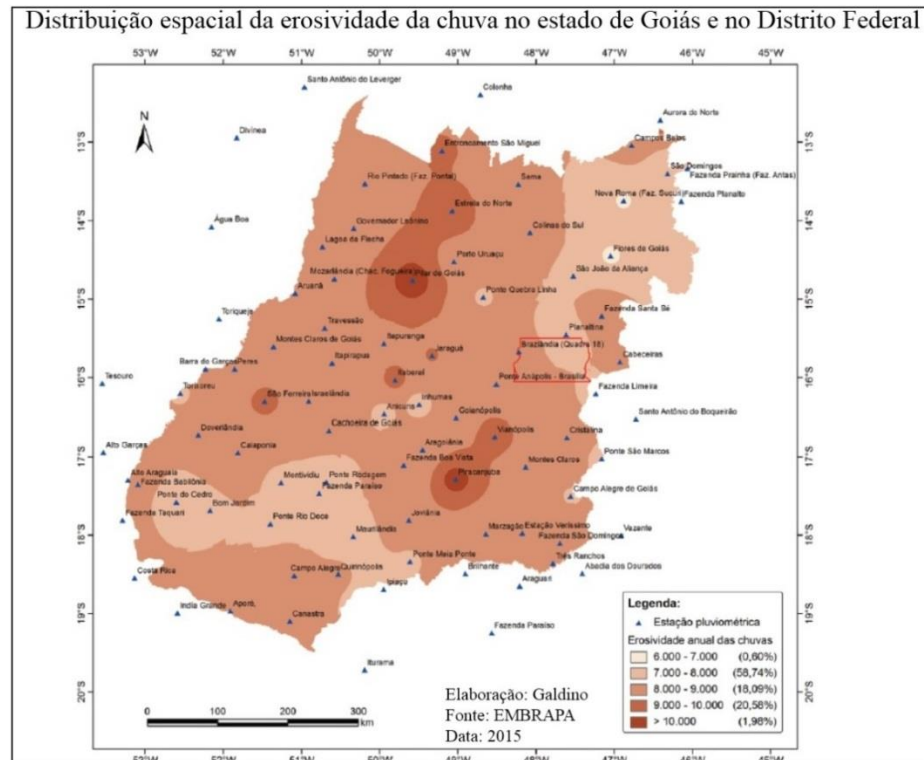


Figura 21. Erosividade de Goiás e Distrito Federal.
Fonte: Galdino (2015).

Os epicentros de chuva no Estado corroboram os ambientes de elevada erosividade, o que era esperado, pois o potencial erosivo (erosividade) de uma área é condicionado pelo fator clima, em especial pela ação direta da precipitação nos fluxos superficiais e subsuperficiais derivados dos episódios pluviais, podendo mudar no tempo geológico (BACELLAR, 2000). Em síntese, a expectativa seria de que nos epicentros de chuvas ocorra maior concentração de focos erosivos.

3.2. Uso e cobertura das terras de Goiás e Distrito Federal

O estado de Goiás é amplamente dominado pelo Cerrado, com apenas no extremo sudoeste um pequeno resíduo do bioma da Mata Atlântica. O Cerrado é área estratégica por sua importância nos serviços ecossistêmicos e de relevância para conservação da biodiversidade e o desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2015). Entretanto, é o bioma que mais sofre pressão ambiental da agropecuária brasileira (SILVA, et al., 2013). Nesse sentido, a expansão das fronteiras agrícola indica que o estado de Goiás foi alvo do processo histórico de uso e ocupação intensiva das terras a partir da década de 1960, devido o potencial do seu meio físico, sua posição geográfica e a logística (GOMES; TEIXEIRA NETO; BARBOSA, 2004).

O mapeamento do uso e cobertura das terras para o estado de Goiás e Distrito Federal desenvolvido pelo MapBioma, traz os dados para o ano de 2016, cuja a espacialização é exposta na Figura 22.

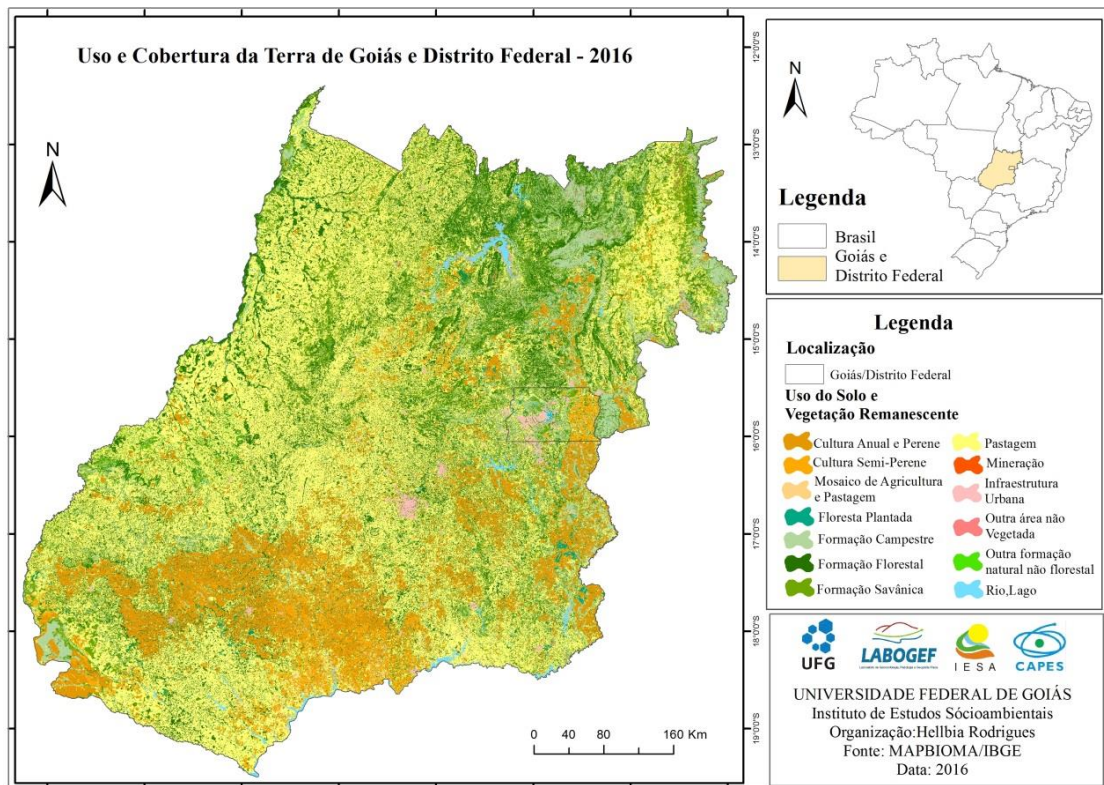


Figura 22. Uso e cobertura das terras para as áreas de Cerrado - Goiás e Distrito Federal (2016).

Fonte: MapBioma, (2018).

Organização: Rodrigues (2018).

Como pode ser observado na Figura 22, as áreas consideradas ainda como naturais predominam na região norte, sobretudo na porção nordeste do estado de Goiás, de grande extensão, o que corrobora os dados apresentados por Sano et al., (2008) que identificaram áreas de remanescentes de vegetação primitiva concentradas na porção norte e nordeste, indicando que isso se dá pelas condições físicas como solos arenosos e/ou pedregosos associados a relevo mais movimentado, exceto no próprio fundo de vale. No restante do estado de Goiás a vegetação natural se encontra já bastante fragmentada. A fragmentação de habitats é apontada como o passo inicial de uma ampla mudança da paisagem e, na atual dinâmica de uso da terra pelo ser humano, é uma das mais importantes e difundidas consequências de perda de biodiversidade e mesmo de extinção de espécies, pois a velocidade

da alteração é maior do que a perturbação natural dos ecossistemas (TABARELLI; GASCON, 2005).

A porcentagem de cada classe de uso e cobertura das terras do estado de Goiás e Distrito Federal pode ser observada na figura 23.

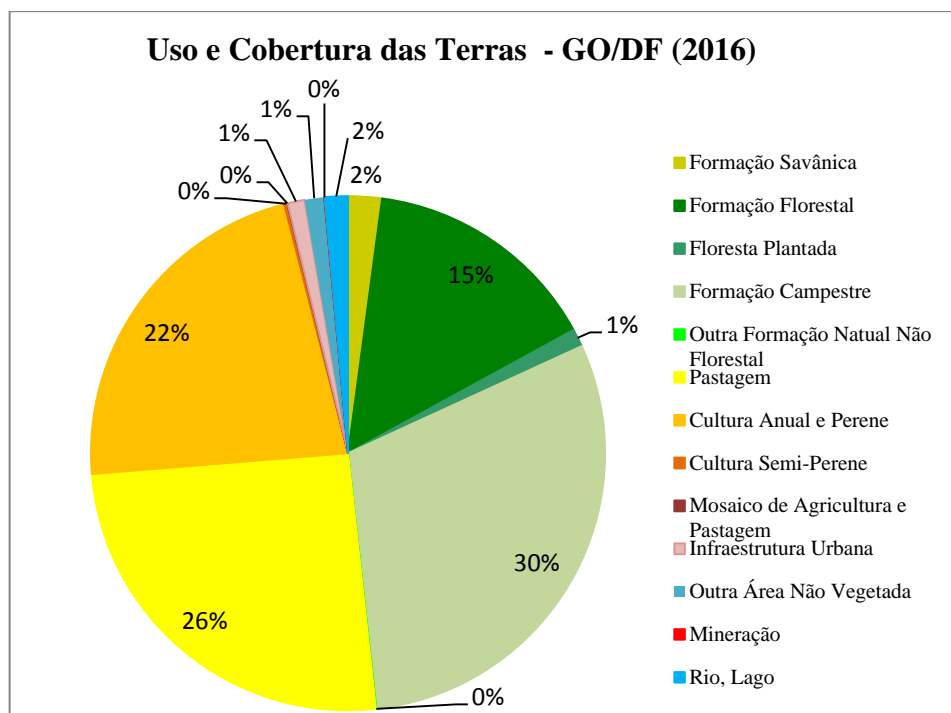


Figura 23. Gráfico de Uso e cobertura das terras – GO e DF (2016).

Fonte: MapBioma, (2018).

Organização: Rodrigues, (2019).

A classe com maior área é a natural com 47,12%, mas se encontra fragmentada em todo o território de Goiás e Distrito Federal. A formação campestre constitui-se o tipo de vegetação de maior ocorrência, com 30,07%, e pode-se observar que os fragmentos de maior extensão predominam no nordeste goiano. O uso com maior extensão é de pastagem com 26% da área total. Em posição bem distante destas anteriores segue-se a cultura anual e perene com 22%, que predomina na mesorregião Sul e de forma fragmentada na porção centro-norte do estado de Goiás. A agricultura semi-perene ocorre com 0,19%, que predomina também na porção sul, com ocorrência de forma mais fragmentada na porção central e leste.

Apesar da expansão da agricultura no estado de Goiás ter sido muito favorecida pelo seu potencial para produção de grãos do mundo, a exemplo da região Centro-Oeste, devido clima favorável, grandes áreas com relevos suavizados e solos propícios (SANO et al., 2008),

esse quadro domina basicamente na mesorregião Sul do Estado, no mais há predomínio da pastagem, o que caracteriza o Estado como pecuário.

Pruski (2010), afirma que a pastagem fornece boa proteção ao solo contra a erosão, se bem manejada, bem como o gado. Se o manejo das pastagens não for bem feito pode induzir processos erosivos, devido superpastoreio, trilheiros e compactação do solo, dentre outros impactos. O pisoteio do gado pode prejudicar o desenvolvimento das gramíneas sendo necessário, por exemplo, uma rotação de pastejo com pousio alternado de piquetes e assim por diante, além do manejo do próprio pasto e do solo. Isso porque em terras agrícolas a erosão consiste num fenômeno de grande impacto, sobretudo pelo prejuízo *on site* que afeta o produtor.

Por outro lado, o estado de Goiás é apontado por Sano et al., (2008) como área que pode suportar o aumento de áreas de cultivo de grãos. Porém, faz-se necessário um estudo cuidadoso sobre a redistribuição das áreas de pastagens, uma vez que sejam substituídas por grãos e tiverem que migrar para novas áreas.

Reatto et al., (2008) afirma que o desmatamento é uma das ações de degradação decorrentes das modificações que o ser humano induz no ambiente. E a extinção de espécies, de flora e fauna, a compactação e a erosão dos solos, a poluição das águas e outros são impactos que levam a uma degradação que passa a *off site*. Portanto, a cobertura vegetal é fundamental por agir como defesa natural de um terreno contra a erosão (SALOMÃO, 2015). No entanto, os efeitos da degradação podem ser reduzidos se a aptidão de cada área for levada em conta no planejamento do uso, pensando que está é uma variável possível de ser administrada. Em síntese, o uso predominante com pastagem pode induzi erosão se tanto os pastos como o gado não forem bem manejados.

3.3. O potencial erosivo hídrico do estado de Goiás: Uma discussão preliminar

O estado de Goiás possui um território com características diversificadas quanto a seus aspectos físicos, iniciando pelo arcabouço geológico, sobretudo quanto à diversidade de litotipos, no entanto, alguns padrões fisiográficos podem ser observados como uma ampla área de relevo plano a suave ondulado, com ocorrência de Latossolos, solos considerados importantes para a agropecuária, principal atividade econômica do Estado, por serem de baixa erodibilidade, no entanto, é necessário manejo adequado. Há também ambientes de relevos movimentados na porção norte associados a solos pouco desenvolvidos, os Cambissolos, de muito alta erodibilidade, na porção sul as áreas de Neossolos Quartzarênicos são ambientes

frágeis considerados de alta erodibilidade, possuindo também alta densidade hidrográfica, uma fragilidade a mais. Salienta-se que o processo histórico de uso ocupação por frentes de expansão continua agregando novas áreas e ampliando a fragmentação.

Assim, o uso do solo como também dos recursos hídricos para irrigação e dessedentação animal são atributos físicos fundamentais para o equilíbrio socioambiental, necessitando serem manejados adequadamente para não gerarem impactos, sobretudo o de erosão. E diante dos dados síntese é possível apontar os principais atributos de suscetibilidade a erosão hídrica no Estado, tanto nos aspectos físicos quanto de uso ocupação dos solos (Tabela 5).

Os dados tabulados por fatores de suscetibilidade a erosão hídrica foram separados por mesorregião, sendo 6 aspectos físicos e 1 de uso ocupação, com um total de 17 classes para todos esses aspectos. Realizando a análise da ocorrência ou não, foi pontuado na tabela e quantificado no final, para cada mesorregião do estado de Goiás e para Distrito Federal como um todo. No resultado a mesorregião Sul se destaca, em todos os aspectos físicos e no uso ocupação, com ocorrência de 11 classes de suscetibilidade a erosão hídrica. Em seguida vem a mesorregião Centro e Noroeste. Em síntese, é possível avaliar que estas mesorregiões necessitam de atenção quanto ao potencial erosivo hídrico.

Esses dados levantados para caracterização são fundamentais, configuram-se como parâmetros importantes para entendimento territorial nos aspectos físicos e de uso dos solos para todo o Estado, assim como para os mapeamentos e análises que virão relativos à erosão hídrica nos capítulos a seguir.

Tabela 5. Matriz de correlação de aspectos de suscetibilidade a erosão hídrica e áreas de Goiás e Distrito Federal.

Aspectos Físicos de Uso e Cobertura Suscetíveis à erosão	Classe	Mesorregiões do estado de Goiás					Distrito Federal
		Noroeste Goiano	Norte Goiano	Sul Goiano	Centro Goiano	Leste Goiano	
Geologia	Arenito						
	Xisto						
	Metasiltito						
Geomorfologia	Zona de erosão recuante						
	Morros e Colinas						
Hidrografia de maior densidade hidrográfica	Rio Araguaia						
	Rio Paraná						

Solos	Cambissolos						
	Neossolos						
	Nitossolos						
	Argissolos textura arenosa e média						
Erodibilidade	0,055						
	0,35						
Clima Precipitação média anual)	2400mm/ 2800mm						
Erosividade	9000 > 10000						
Uso e Cobertura das Terras	Pastagem						
Total		7	6	11	9	4	1

CAPÍTULO 4

METODOLOGIA DA PESQUISA

4.1. Fundamentos Metodológicos da Investigação

Atualmente, tanto a comunidade técnico-científica como os governos admitem a necessidade de ações que promovam, sobretudo, uma readequação das práticas agrícolas, a fim de garantir a conservação dos recursos naturais para as gerações futuras. No Brasil, um dos fatores que mais seriamente tem contribuído para a baixa produtividade do solo é a erosão hídrica, facilitada e acelerada por práticas inadequadas de agricultura (OREA, 1994).

Nesse contexto, algumas ferramentas têm sido valorizadas e aperfeiçoadas como os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), os Sistemas Especialistas (SE), a Modelagem Matemática (MM) e a Avaliação de Impacto Ambiental (AIA), dentre outras, que possibilitam a coleta e análise das informações temáticas, a simulação da atuação de peritos na área, a previsão de cenários e a predição dos impactos das atividades agrícolas, respectivamente, oferecendo, assim, os subsídios necessários aos planos de manejo do solo e da água (FERNANDES et al., 2002). Por outro lado, as imagens de satélite de média resolução ao permitirem uma avaliação mais regional, favorecendo a identificação espacial de áreas específicas pela obtenção de possíveis indicadores de tendência ao desenvolvimento de determinados fenômenos. Contudo, nem sempre acertando na sua modelagem dinâmica, possivelmente em decorrência da escala.

O advento das imagens de alta resolução e de sistemas informatizados de análise mais sofisticados atrelados aos SIG, e mais recentemente os drones, têm favorecido enormemente os mapeamentos detalhados de áreas-alvo, onde por alguma razão parcialmente desconhecida certos fenômenos se desenvolvem preferencialmente. Isto, por permitirem a avaliação ampliada de um maior número de variáveis do fenômeno e o respectivo intercruzamento dos dados, o que tem viabilizado a concepção de modelagens dinâmicas e processuais mais assertivas, contribuindo, quando politicamente assim se deseja, para o estabelecimento de políticas de avaliação diagnóstica e prognóstica (cenários) para um melhor uso e manejo das terras.

Portanto, trabalhar com as duas escalas, a estadual e local o mais integralmente possível, pode contribuir para uma seleção de áreas-alvo aonde se desenvolvem os respectivos estudos detalhados. A metodologia baseada em análise multiescalar e multiproxi

(multitemática) com forte auxílio de geotecnologias e ênfase nos condicionantes erosivos como variáveis para o desenvolvimento da pesquisa.

Para a escala estadual (que corresponde ao estado de Goiás e Distrito Federal) e a local (Áreas críticas identificadas e extraídas do mapa de densidade de focos erosivos lineares). Diante do exposto, o banco de dados cartográfico respectivo à escala estadual e local foi organizado nas seguintes variações:

- na escala estadual (1:250.000; 1:150.000; 1:100.000)
- na escala local (1:30.000; 1:15.000).

Como exposto, e com esse intuito, a presente pesquisa trabalha na temática da erosão hídrica linear, expressa nas feições de ravinas e voçorocas de médio e grande porte, com base nos fundamentos metodológicos que analisam o fenômeno em duas escalas de investigação, a estadual e a local, no intuito de compreender o fenômeno em termos de sua distribuição espacial, de identificação das áreas críticas e de suas causas, de modo a obter os indicadores e parâmetros do processo, que possam contribuir, por um lado, à construção de uma teoria e, por outro, às políticas públicas de controle preventivo e corretivo.

Partindo da compilação bibliográfica para estabelecer as bases teóricas e operacionais da pesquisa, obteve-se os conceitos, tipologia, métodos de avaliação e modelos interpretativos do fenômeno erosivo, inserindo-os na paisagem, nos quais os respectivos condicionantes naturais conduzem à suscetibilidade à erosão, bem como o processo histórico de seu uso e ocupação, permitem chegar à avaliação aprimorada (SANCHES, 1998; SALOMÃO, 2015). Nessa fase constatou-se inequivocamente a carência de métodos de análise e interpretação da erosão hídrica linear, contrariamente à laminar, largamente modelada. Mesmo assim, foram valorizados alguns teóricos considerados fundamentais como Morgan (2005), Bertoni e Lombardi Neto (2010); IPT (1990), Lal (2012); Salomão (2015); FAO (2015), e mais recentemente Pennock (2019).

A metodologia de pesquisa ora proposta foi aplicada na escala estadual para identificação e delimitação das áreas de maior concentração de focos erosivos, e posteriormente na escala local, nessas áreas de maior concentração de focos, denominadas de áreas críticas, onde estudos detalhados foram implementados ampliando-se o número de variáveis envolvidas. Tal estratégia metodológica concebida com base nessas duas escalas espaciais de estudo do fenômeno, a estadual e a local, requereu abordagem e operacionalização multiescalar e multivariada (VELDCAMP et al., 2001).

O território de aplicação dessa estratégia foi inicialmente todo o território do estado de Goiás e Distrito Federal, onde o fenômeno erosivo hídrico linear tem ocorrido

preferencialmente em determinadas regiões, mas carece ainda de explicações mais substanciais sobre os condicionantes, numa perspectiva causal e posteriormente nas áreas em que foi identificada maior concentração das feições erosivas, as aqui denominadas áreas críticas.

Na escala estadual procedeu-se à identificação das áreas críticas de concentração dos focos erosivos por meio de mapeamento das isodensidades e sua correlação com os atributos do meio físico, sobretudo, geologia, geomorfologia e pedologia, além de uso das terras, visando realizar uma modelagem exploratória do sistema paisagístico e seus efeitos locais. Operacionalmente, trabalhou-se com auxílio de geotecnologias visando elaboração de produtos geocartográficos e respectivas correlações e sínteses visando compreender a suscetibilidade e os conflitos de uso (discrepâncias). Foi ainda possível distinguir e classificar as áreas críticas segundo grau de criticidade e compreender as variáveis intervenientes no fenômeno nessa escala.

Na escala local, a das áreas críticas, representadas pela elevada densidade de focos erosivos, considerou-se que um maior número de variáveis permitiram o melhor entendimento do fenômeno na paisagem, como a análise da compartimentação morfopedológica, das curvaturas do terreno, das rotas de fluxos hídricos superficiais, das suscetibilidades e sobretudo dos riscos, dentre outras, e suas relações com os focos instalados. Por fim, foi possível elencar e melhorar os indicadores do fenômeno e discutir uma interpretação teórica causal na paisagem.

Convém ressaltar que para o estudo da paisagem, pressupôs-se que esta se caracteriza por uma homogeneidade fisionômica do espaço físico, porém resulta de relações naturais e sociais estabelecidas, de per si e entre si, que modificaram, por vezes fortemente, a paisagem natural, o que demandou a utilização de um raciocínio de múltiplas operações, baseados nos diferentes elementos componentes da paisagem, de modo individual e posteriormente integrado, ou seja, avaliado em conjunto multivariado (CAVALCANTI, 2014).

Para tanto, trabalhou-se no formato digital, utilizando-se de técnicas geocartográficas com auxílio de geotecnologias, tais como sensoriamento remoto aplicado a imagens de satélite de média e alta resolução, para identificação de focos, dos mapas temáticos relativos aos condicionantes e de uso das terras, com base em técnicas de geoprocessamento com auxílio de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para elaboração de produtos cartográficos e afins, sem prejuízo de validação em campo.

A pesquisa desenvolveu-se em etapas operacionais sucessivas, por vezes simultâneas, as quais são descritas a seguir, separando-se a parte da Escala estadual da Escala Local.

A - ESCALA ESTADUAL

4.2. Elaboração dos Mapas Temáticos Básicos

4.2.1. Mapa base

Procedeu-se à compilação e organização de documentos bibliográficos e dados cartográficos disponíveis nas bases de dados nacionais e estaduais, sobretudo nas escalas de 1:500.000, 1:250.000, 1:100.000 e 1:30.000 visando elaborar a base cartográfica do estado de Goiás e Distrito Federal, sobre a qual os diferentes temas relativos aos condicionantes do processo erosivo foram lançados. Optou-se pela escala estadual 1: 250.000, aqui considerada como escala regional.

Em seguida procedeu-se à elaboração dos mapas temáticos sobre a base digital 1:250.000, de modo a reconhecer os padrões espaciais de distribuição dos componentes do meio físico, quanto à sua geologia (litotipos), geomorfologia (declividades; altitudes, hidrografia e unidades geomórficas), pedologia (solos), clima, uso do solo, descritos a seguir no fluxograma exposto na figura 24.

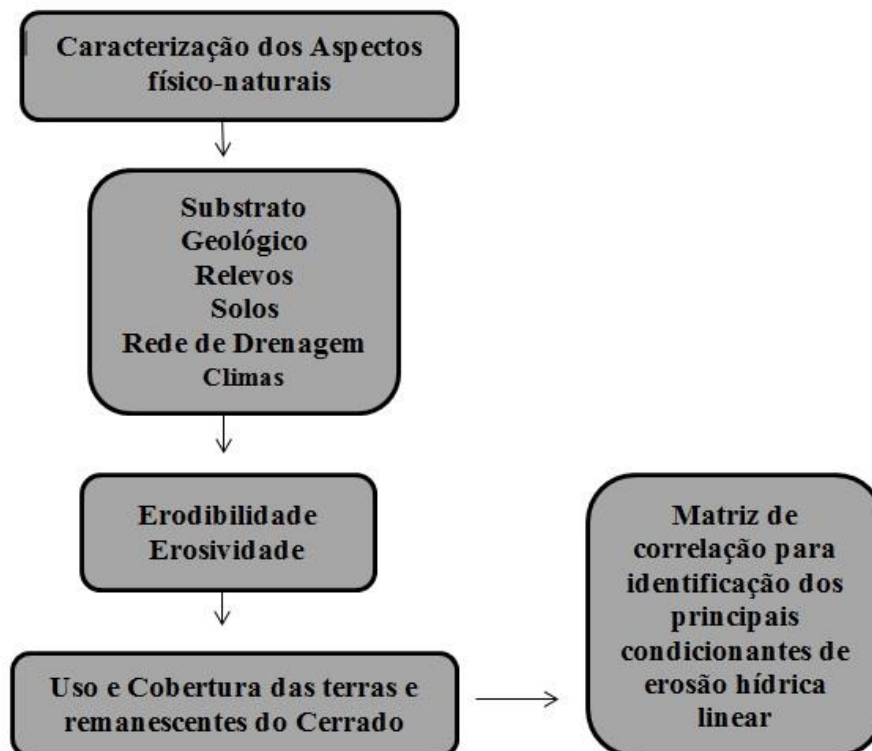


Figura 24. Fluxograma de levantamento de dados secundários do estado de Goiás e Distrito Federal.

4.2.2. Mapas temáticos básicos

4.2.2.1. Geologia

Os dados de geologia quanto a seus litotipos são provenientes do projeto RADAMBRASIL, disponibilizado na escala de 1:500.000, embora a escala original das publicações seja 1:1000.000 (IANHEZ et al., 1983; NOVAES et al., 1983; MOREIRA et al., 2008). Para organização e apresentação do mapa geológico e respectivos litotipos foi utilizado o *Software* ARCGIS.

4.2.2.2. Geomorfologia

Os dados de geomorfologia foram compilados do mapa Geomorfológico do estado de Goiás elaborado por Latrubesse; Carvalho (2006) na escala de 1:500.000 e serviram para identificação e compreensão das superfícies geomórficas e sua distribuição. Tais dados foram analisados juntamente com dados de declividade produzidos a partir de imagens de radar provenientes do projeto *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM). O projeto SRTM de cooperação entre a NASA e a *National Imagery and Mapping Agency* (Nima), Departamento de Defesa (DOD) dos Estados Unidos e das agências espaciais da Alemanha e da Itália, no ano de 2000 são disponibilizados pela NASA por meio da *United States Geological Survey* (USGS), na resolução de 30 m. O *datum* de referência era WGS84, mas foi recalculado para Datum SAD 69.

Foram adquiridas 49 imagens SRTM, todas trabalhadas no *Software* ARCGIS. Foi realizado o mosaico e para a elaboração do Mapa de Declividade utilizou-se o Modelo Digital de Elevação (MDE) com resolução de 30m, adotando-se como unidade percentual por área cujo cálculo foi realizado no *Software* ARCGIS. Assim, optou-se por agrupar os dados em cinco classes que contemplam os mesmos intervalos de declividade compatíveis com as classes de suscetibilidade à erosão laminar propostas por Salomão (2015), a saber: 0 – 6; 6.1 – 12; 12.1 – 20; 20.1 – 45; >45%.

Os dados do MDE podem apresentar características indesejáveis, o que requer um tratamento específico para não contaminar a imagem, utilizando técnica de filtragem (VALERIANO, 2008). Assim, antes de realizar a elaboração morfométrica e morfográfica da área, procedeu-se a uma filtragem para corrigir os pixels com valores inconsistentes ou que se encontravam superestimados ou subestimados em relação ao entorno mais próximo (NUNES, 2015).

4.2.2.3. Solos

Os dados pedológicos foram compilados de do Mapa de Solos do estado de Goiás e Distrito Federal (OLIVEIRA, 2013), na escala de 1:250.000, o qual passou por um refinamento que o referido autor realizou, quanto ao número e limites de classes levantadas. Todas a nomenclaturas das classes estão de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (EMBRAPA, 2013). Para correlação e entendimento e descrição foi utilizado o Manual Técnico de Pedologia (IBGE, 2015). Para organização e apresentação do dado de solos foi utilizado o *Software* ARCGIS.

4.2.2.4. Erodibilidade

A erodibilidade de Goiás e Distrito Federal foi compilada do estudo realizado por Scopel; Silva (2001). Os autores utilizaram o nomograma de Wischemeier; Smith (1971), com base nos dados laboratoriais do trabalho de Assis; Assunção (1999) e complementados com dados de erodibilidade de Bertoni; Lombardi Neto (1975), cuja espacialização da erodibilidade utilizaram o *Software* AUTOCAD, mas não apresentaram o cálculo de área para cada classe.

4.2.2.5. Drenagem

Os *Shapfiles* da rede de drenagem foram compilados do IBGE, na escala de 1:100.000, e organizados no *Software* ARCGIS. Para análise areal das bacias foi calculada a densidade hidrográfica, que corresponde à relação existente entre o número de rios ou cursos de água e a área da bacia hidrográfica. Este foi um índice definido por Horton (1945) que utilizou a fórmula:

$$Dh = \frac{N}{A}$$

Onde:

Dh representa a densidade hidrográfica;

N o número total de rios ou cursos de água;

A representa a área da bacia considerada.

Para realizar a medição foram pontuados os canais de primeira ordem, segundo o proposto por Strahler (1945), sendo o número de canais correspondente à quantidade de rios de primeira ordem (da nascente). Foi utilizado o *shapefile* de drenagem na escala de

1:100.000 (IBGE, 2010) e o *Software* ARCGIS para realização do cálculo para cada bacia e região que compõe o Estado.

4.2.2.6. Clima

Os dados de clima do estado de Goiás e Distrito Federal, demandaria um trabalho exaustivo de compilação, preenchimento de falhas, assim como organização e tratamento de modo a compreender as séries históricas e caracterizar, sobretudo a pluviometria e as temperaturas. Então optou-se por utilizar dados dos trabalhos publicados por Silva, Santana, Pelegrini (2006) e Cardoso, Marcuzzo, Barros (2014).

Cardoso; Marcuzzo; Barros, (2014) trabalharam os dados de precipitação pluvial (chuva) das estações da Agência Nacional de Águas (ANA 105), apenas de 10 anos, 1989 à 1998, justificando esse recorte temporal por possuir menor número de falhas. Silva; Santana; Pelegrini (2006), utilizaram 114 pontos de coleta de dados de precipitação pluvial (chuva), com médias de 10 anos, mas não apontaram o recorte temporal. Assim, a partir desses estudos foi possível observar o comportamento climático, sobretudo das precipitações em termos da distribuição espacial dos índices pluviométricos e respectivos mapas.

4.2.2.7. Erosividade

A erosividade de Goiás e Distrito Federal foi compilada dos dados calculados por Galdino (2015), que utilizou a metodologia de Fournier modificada por Lombardi Neto; Moldenhauer (1992) para estimar a erosividade da chuva. Para tanto, o autor obteve os dados de 88 estações pluviométricas no período de 1980 à 2010 e elaborou o Mapa de Erosividade ora apresentado.

4.2.2.8. Uso e cobertura das terras de Goiás e Distrito Federal

O mapa de uso das terras e vegetação remanescente para todo o estado de Goiás e Distrito Federal foi compilado do MapBioma, para o ano de 2016, ano correspondente do mapeamento dos focos erosivos linear, para haver uma correlação espacial de um mesmo período. Os dados do MapBioma são desenvolvidos utilizando imagens de satélite Landsat, com resolução de 30 metros, como resultado final tem-se o mapa na escala de 1:150.000, assim sendo este dado o de maior detalhe disponibilizado para todo o território trabalhado na pesquisa (MAPBIOMAS, 2019).

Esse dado foi utilizado também para estudo do uso ocupação e fragmentação das áreas críticas, é válido ressaltar que o MapBioma é um produzido por equipes multiprofissionais

subdividia por biomas no Brasil, especialistas na área, sensoriamento remoto e meio ambiente, provenientes de diversas universidades. A figura 25 expõem uma visão geral do processo de geração dos mapas anuais de cobertura e uso das terras do MapBiomas, assim como os mapas de transição.

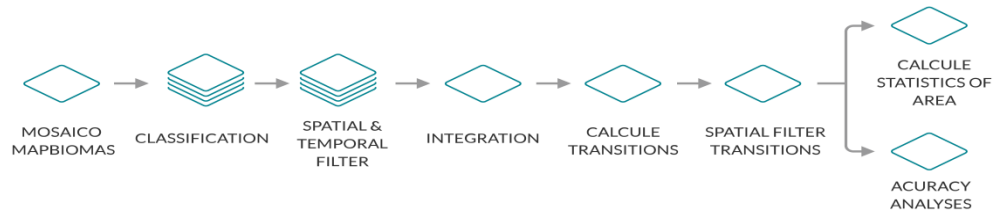


Figura 25. Processo de geração de mapas de uso e cobertura das terras e mapas de transição.
Fonte: MapBioma, 2019.

4.2.2.9. Elaboração da matriz de correlação dos aspectos de suscetibilidade a erosão hídrica para o estado de Goiás e Distrito Federal

Com os dados compilados físicos e de uso e cobertura foram identificados os aspectos físicos de suscetibilidade à erosão do estado de Goiás e Distrito Federal, separados em cada aspecto físico suas classes de maior suscetibilidade a erosão, em seguida pontuada para cada mesorregião do estado de Goiás e Distrito Federal, a ocorrência de cada classe, por fim quantificada para identificar, quais as mesorregiões possuem maior número de classes de suscetibilidade a erosão tanto nos aspectos físicos quanto de uso e cobertura.

4.3. Elaboração dos Mapas de Síntese

Em termos gerais, os mapas de síntese desta etapa foram elaborados por intercruzamento dos mapas anteriores, com vistas a obter-se mapas de interesse direto dos estudos erosivos como pode ser observado no fluxograma exposto na figura 26. Os mapas de síntese são descritos a seguir.

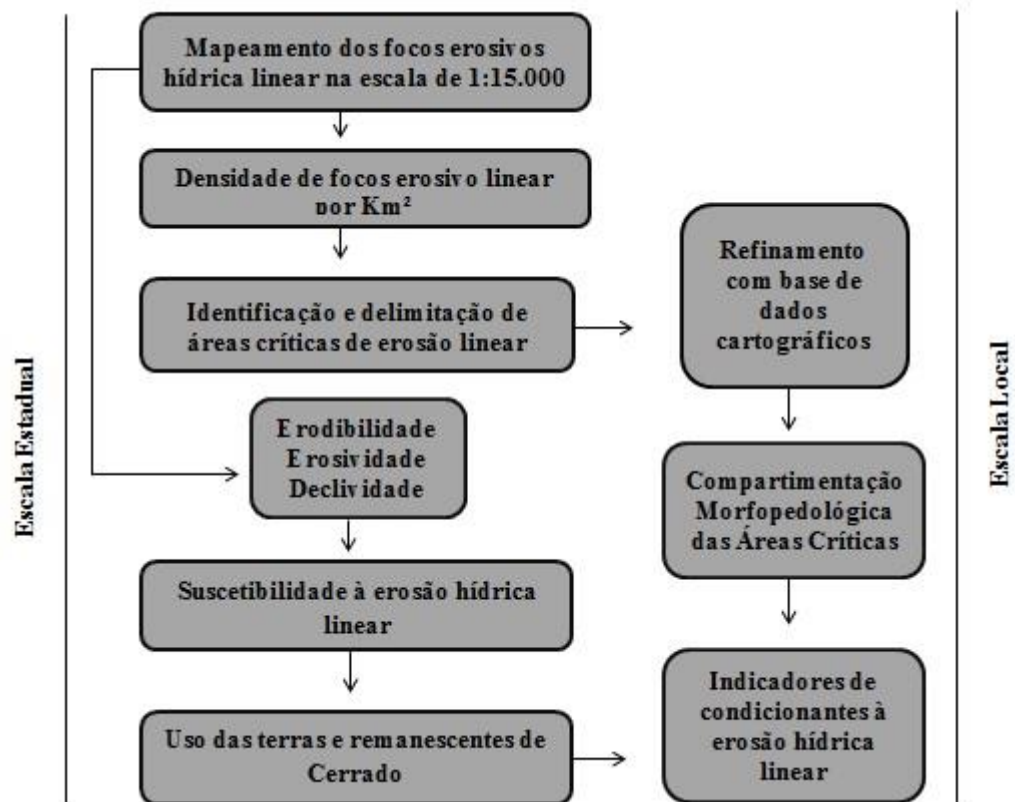


Figura 26. Fluxograma da análise geoespacial multiescalar da erosão hídrica linear.

4.3.1. Mapa da erodibilidade

A erodibilidade foi estabelecida com base no Mapa de Solos do estado de Goiás (OLIVEIRA, 2013), aplicando-se os índices de erodibilidade propostos por Salomão (2015), que calculou a erodibilidade com base nos dados de referência de Bertoni; Lombardi Neto (1985) em que os índices variam de 0 a 0,54, mas o intervalo foi relativizado para a escala de 0 a 10 pelo referido autor (SALOMÃO, 2015) e subdivididos em cinco classes de erodibilidade. O Mapa de Erodibilidade foi realizado com o uso do *Software* ARCGIS. Para tanto, utilizou-se a classificação da erodibilidade dos solos conforme Quadro 1.

O Quadro 1 foi adaptado daquele proposto originalmente por Salomão (2015) e apresenta as classes de erodibilidade, os respectivos índices, os algoritmos aqui propostos e a atualização das classes de solos, cuja nomenclatura foi adotada no 1º. Nível categórico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos/SiBCS (EMBRAPA 2013), com algumas especificações texturais de reconhecida influência na erodibilidade (SALOMÃO, 2015). A classificação da erodibilidade foi feita em cinco classes, numeradas em algarismos romanos de I a V, que variam de muito alta a muito baixa (Quadro 1).

Quadro 1. Classes de Erodibilidade.

Classes de Erodibilidade	Índices Relativos De Erodibilidade	Algoritmos	Classes Pedológicas
I	10,0 a 8,1	Muito alta erodibilidade	Cambissolos, Neossolos Litólicos, Nitossolos, Argissolos com textura arenosa média e Neossolos.
II	8,0 a 6,1	Alta erodibilidade	Nitossolos, Argissolos não abruptos, textura média/ argilosa, e textura média.
III	6,0 a 4,1	Moderada erodibilidade	Argissolos de textura argilosa.
IV	4,0 a 2,1	Baixa erodibilidade	Latossolos de textura média e argilosa.
V	2,1 a 0	Muito baixa erodibilidade	Gleissolos.

Fonte: Adaptado de Salomão (2015).

4.3.2. Mapa preliminar de suscetibilidade à erosão laminar

O Mapa Preliminar de Suscetibilidade à Erosão Laminar baseou-se na proposta do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo (IPT, 1990) que se baseia no intercruzamento do Mapa de Declividade, cujas classes percentuais foram reagrupadas em I (>20), II(12-20), III(6-12) e IV(<6) associadas às classes de erodibilidade supra citadas, como expressas no Quadro 2. Para elaboração do mapa os dados foram cruzados e tabulados no *Software* ARCGIS.

Quadro 2. Classes de suscetibilidade à erosão laminar.

Erodibilidade	Declividade (%)				Suscetibilidade
Classes	I(>20)	II(12-20)	III(6-12)	IV(<6)	Algoritmos
1	I	I	II	II	Extremamente Suscetível
2	I	II	II	III	Muito suscetível
3	II	III	III	IV	Moderadamente Suscetível
4	III	IV	IV	V	Pouco Suscetível
5	Não existe	Não existe	Não existe	V	Pouco ou não Suscetível

Fonte: adaptado de IPT (1990).

Para a classificação foram feitas algumas adaptações à classificação, onde:


- I- Extremamente suscetível;
- II- Muito suscetível;
- III- Moderadamente suscetível;
- IV- Pouco Suscetível
- V- Pouco ou não suscetível.

4.3.3. 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 sitio GOOGLE EARTH. Para o mapeamento a escala adotada foi de 15 m de resolução espacial, 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, foi criado um *Shapefile* para os pontos.

Os focos erosivos foram localizados e pontuados, no entanto não foram classificados em sulcos, ravinas, voçorocas. A identificação de cada foco foi possível diante a observação visual da imagem isso e possível pela alta resolução, na qual o foco sempre aparece associado a algumas características. Para pontuar como identificados os focos, foram tabulados critérios de identificação, exposto no quadro 3 a seguir.

Quadro 3. Critérios de identificação dos focos erosivos.

Critérios	Imagem Modelo
<p>Foco erosivo linear de pequeno porte, próximo a um fragmento de remanescente de Cerrado, solo exposto, subsequentes às curvas de nível.</p>	

Foco erosivo linear conectado ao canal de drenagem, em área de pastagem, próximo à trilheiros feito por gado. O relevo suave indicando uma rampa longa.



Foco erosivo linear associado à trilheiros de gado em área de pastagem, havendo convergência tanto dos focos como dos trilheiros direcionado ao canal de drenagem. O relevo suave indicando uma rampa longa.



Foco erosivo linear de grande porte, conectado ao canal de drenagem em área de agricultura.



Foco erosivo de grande porte em formato ovoite, com ramificação próxima a canal de drenagem, em área de agricultura.





Na identificação dos focos erosivos, o solo exposto na fratura em muitos casos refletia para o branco, principalmente nos ambientes de Neossolos. Os focos erosivos em canais de drenagem quando de pequeno porte apresentam-se em linha, com fratura pouco pronunciada no terreno. Os focos erosivos de grande porte associados aos canais de drenagem apresentam-se tanto com ramificações, quanto em formato de linha, e em alguns casos com um formato ovoide.

No mapeamento os focos erosivos de pequeno porte, quando deixavam dúvida na visualização de 15 m de resolução espacial, era utilizada visualização em 8 m de resolução espacial, para confirmar e pontuar o foco erosivo, a quadro 4 ilustra esse procedimento.

Na atualidade, as imagens que possuem alta resolução espacial são consideradas uma grande inovação nas imagens orbitais para uso comercial (OLIVEIRA et al., 2009). A definição de uma escala de visualização e análise se deu pela necessidade de padronização, pois, assim como afirmam Martinelli; Pedrotti (2001), um campo de percepção varia conforme a posição do observador, configuração morfoescultural do terreno e arranjos de seus volumes.

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 *Xtoos*. O tamanho de cada graticula adotada foi de 3 x 3 km, possibilitando uma varredura detalhada (Figura 27).

Quadro 4. Identificação de erosão nas duas resoluções 1:15.000 e 1: 8.000.

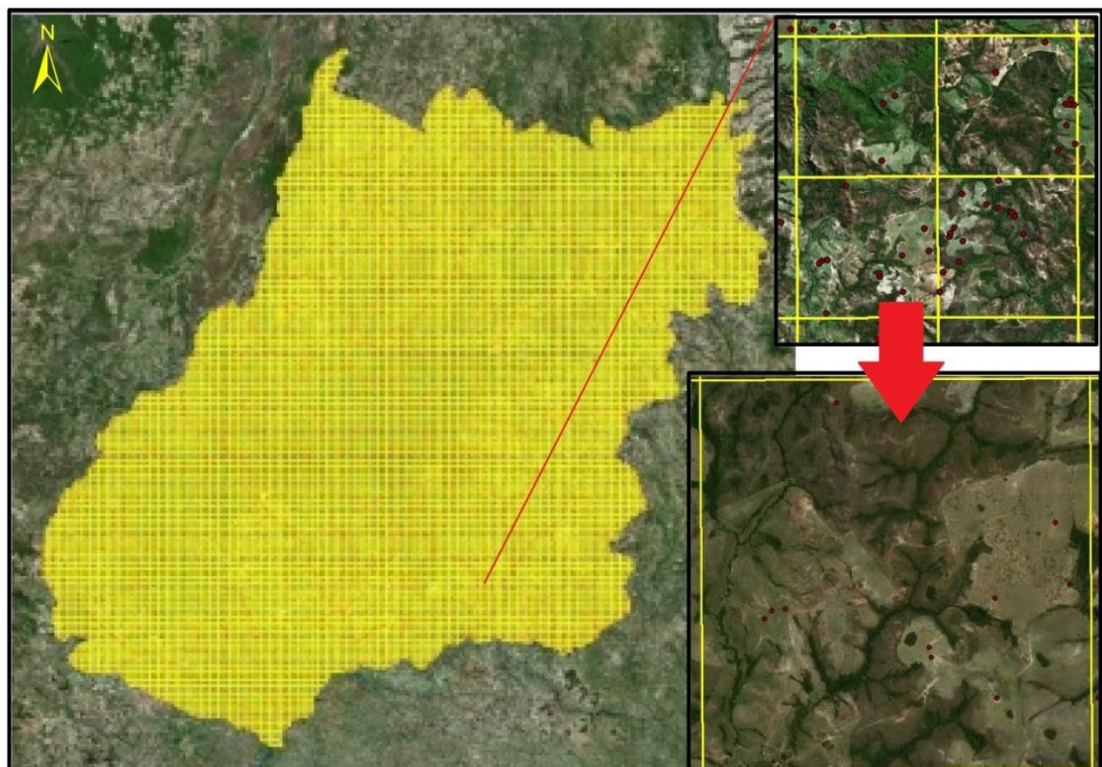
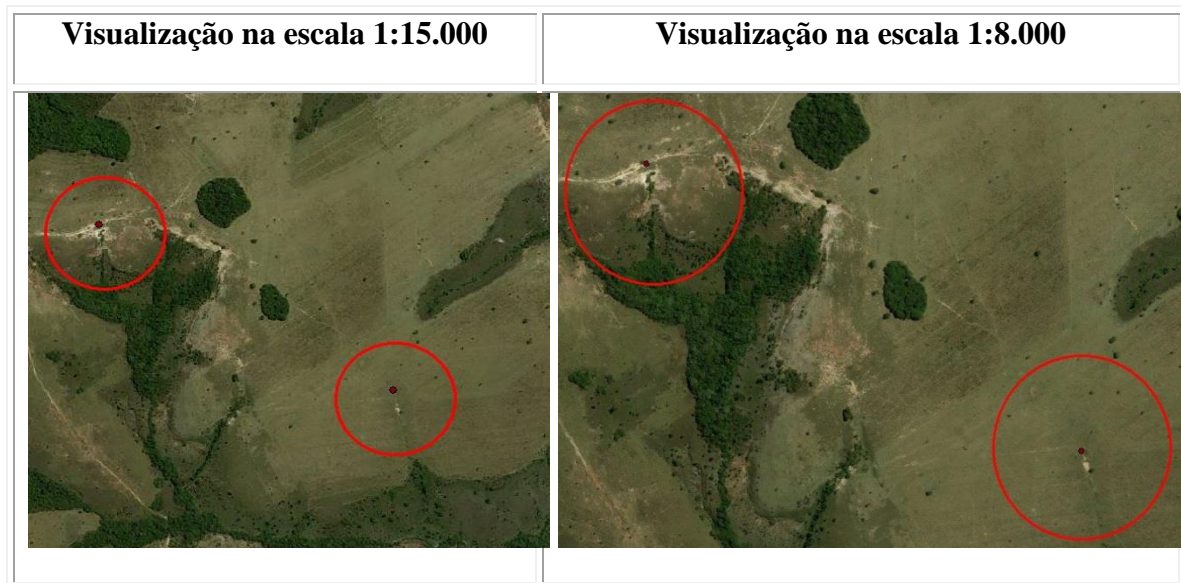


Figura 27. Esboço da graticula para área de identificação e mapeamento de erosões, 2019.

4.3.4. Definição da chave de interpretação dos focos erosivos

A avaliação e o mapeamento de erosão hídrica em imagens de satélite são limitados pela disponibilidade e qualidade de dados. A detecção remota via imagens de satélite facilita as avaliações (VRIELING, 2006). Com a disponibilidade de imagens de alta resolução as opções para detectar e monitorar erosões individuais aumentou, no entanto, um método capaz de extrair automaticamente os focos erosivos em imagens de detecção remota de alta resolução ainda não existe (DESPRATS, 2013).

A classificação adotada foi supervisionada e realizada a partir da interpretação visual foi o método utilizado para o desenvolvimento da pesquisa, por propiciar a identificação dos focos das erosões. E para sua identificação fez-se necessário 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).

O mapeamento de erosões por imagens de satélite é facilitado pela possibilidade de identificação dos focos erosivos por serem facilmente visualizadas, assim como pelo custo. Nos quadros 5 e figura 26, abaixo apresenta-se a chave de classificação utilizada para a identificação das erosões em imagens *GeoEye*. Nas imagens da figura 23 é possível observar algumas erosões que foram pontuadas, voçoroca, ravina, utilizadas para demonstrar como é realizada a identificação. Esses aspectos foram avaliados para a aplicação no mapeamento e, para isso, foi criado um *Shapefile*.

No entanto, as erosões foram identificadas e pontuadas, porém não foram classificadas na tabela de atributos, decisão tomada diante da extensão da área de estudo. Contudo,

mantveu-se a proposta de realizar a classificação para as áreas críticas, em escalas de maior detalhe, posteriormente ao mapeamento e identificação dessas áreas. Os sulcos não foram considerados no mapeamento pela escala adotada, que prejudicava a identificação.

Quadro 5. 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) / Possibilidade de tonalidade escura quando atinge lençol freático.	Lisa	Alongada (extensa)	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.

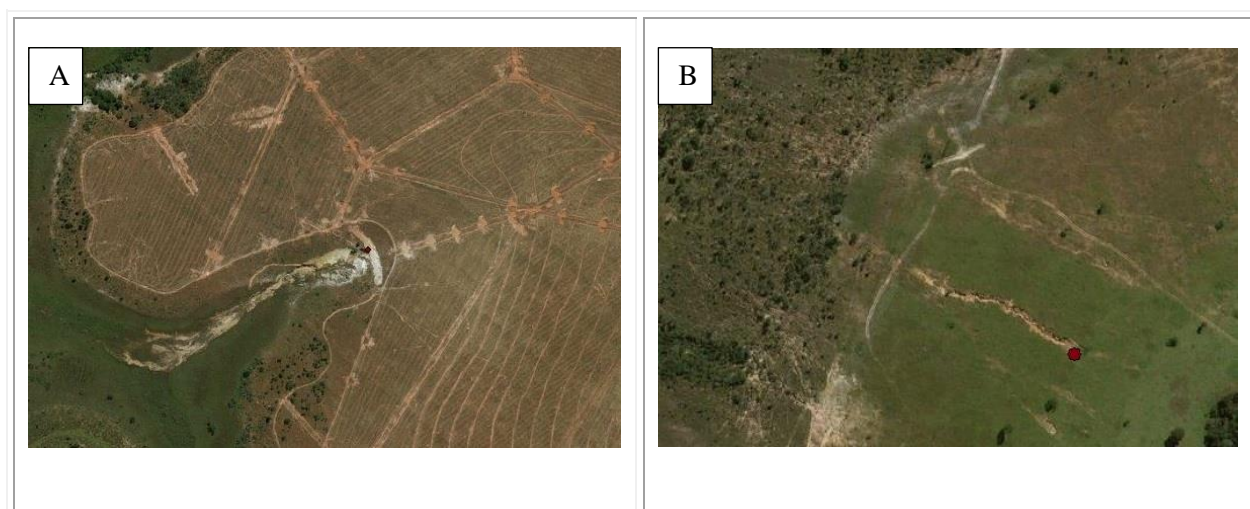


Figura 28. Modelo de erosões identificação e mapeamento.

Legenda: A – Voçoroca; B – Ravina.

Ao longo da realização do mapeamento foi possível constatar alguns problemas na identificação: próximo a drenagens o solo exposto é bem claro; aspectos como a projeção da sombra de erosão de grande porte, assim como bordas íngremes, deixam a feição erosiva delineada o que facilitou sua identificação. Os sulcos não foram considerados no mapeamento pela escala adotada, que prejudicava a identificação.

4.3.5. Distribuição e densidade dos Focos Erosivos

Diante da necessidade de um tratamento geoestatístico dos focos erosivos mapeados, a tecnologia de geoinformação auxilia. O acesso a técnicas de tratamento analítico de dados sofisticados e o uso de SIG são uma interface eficiente para combinar a capacidade de visualização e o poder analítico (DRUCK et al., 2004).

Nessa etapa procedeu-se a uma análise espacial dos dados, posterior à elaboração do mapa de focos (feições erosivos). Trata-se de uma análise espacial de dispersão ou concentração desses pontos do fenômeno no espaço, a partir do estimador de densidade *Kernel*. Esta é uma ferramenta que calcula para uma dada área a magnitude por unidade a partir de recursos de pontos, indicando como os pontos se dispõem na paisagem para uma dada superfície contínua. Essa ferramenta integra o *Software* ARCGIS, e é, portanto uma ferramenta geoestatística.

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 30 que é o valor correspondente ao valor de uma imagem SRTM. A etapa seguinte consistiu no raio de busca que é baseada a unidade linear da projeção da referência de saída. Foram testados diversos raios, optando-se por aplicar um raio em km², por apresentar uma melhor visualização das áreas de concentração dos focos erosivos.

Para as unidades de área que correspondem aos valores de densidade de saída, foi selecionado em Km², cujos valores de saída representam o valor de densidade e distância entre os recursos planar. Esta mesma ferramenta já foi utilizada para as mesmas finalidades, por Nunes (2015); Barbalho, (2010) e Santana (2006) em terrenos do estado de Goiás. A partir dela foi possível identificar as áreas com maior e menor concentração de focos erosivos, bem como as áreas mais críticas, isto é onde a densidade de ocorrências era maior.

4.3.6. Elaboração do mapa de suscetibilidade a erosão hídrica linear

Dentre os modelos propostos para elaboração de mapeamentos de suscetibilidade à erosão linear, Kertzman et al (1995) apresentam proposta metodológica para o estado de São Paulo que avalia por cruzamento das variáveis de focos erosivos lineares, Geologia, Geomorfologia e Pedologia às classes de suscetibilidade (Quadro 06).

A proposta metodológica apresentada por Kertzman et al., (1995) é de alta relevância por ter se baseado em mapeamento dos focos erosivos e cadastramento em campo, correlacionados com o estudo das variáveis da paisagem (Geologia, Solos e Geomorfologia). Entretanto, na época a base cartográfica de dados existentes para o estado de Goiás era

generalista e apresentava lacunas quanto a variáveis importantes para o modelo proposto por ele, como o mapeamento de focos erosivos classificados em ravinas e voçorocas cadastrados em campo.

Quadro 6. Roteiro metodológico de elaboração do Mapa de Suscetibilidade erosiva linear.

Mapa de focos erosivos lineares	Mapas de Geologia, Geomorfologia e Pedologia	Mapa de Suscetibilidade Erosiva Linear
Mapeamento dos focos por imagem de satélite.	Baseado em análise integrada da paisagem.	Correlação da frequência de distribuição de boçorocas por área ou índice de concentração (ICBs), com os diferentes tipos de rochas, relevos e solos, estabelecendo-se relações espaciais dos ICBs e as características do meio físico.
	Ponderando fator de comportamento da água, incidência dos processos erosivos, em relação aos fatores geológicos, geomorfológicos e pedológicos.	Definição de critérios de distinção de classes de suscetibilidade, contemplando diferentes níveis de predisposição dos terrenos em relação a ravinamentos e boçorocamentos 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 correlação definidas, visando à delimitação de áreas enquadradas nas classes de suscetibilidade à erosão devido a ravinas e boçorocas.

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

É válido ressaltar que o método é um caminho para se obter segurança na concepção de um dado, assim como propicia o encadeamento do conhecimento científico (SILVA, 2007). Assim, na presente pesquisa a estratégia metodológica de Kertzman et al (1995), relativa ao cruzamento de dados do meio físico e uso do solo para fins de determinar e espacializar as classes de suscetibilidade à erosão linear, serviu de inspiração para elaborar o mapa de suscetibilidade erosiva linear do estado de Goiás. Foram consideradas as variáveis de que condicionam a ocorrência de processos erosivos, as quais foram levantadas contando com a disponibilidade atual de dados e imagens de satélite de média e alta resolução, como: Erodibilidade, Erosividade, Declividade e Densidade de Focos, procedendo-se análise correlacionada dessas variáveis. Esse trabalho desenvolveu-se nas seguintes etapas:

1ª - Trabalhando com variáveis físicas voltadas à suscetibilidade a erosão linear, foram utilizados os dados que contribuem para elaboração de uma proposta que contempla a

integração e correlação para definição das áreas suscetíveis à erosão linear expostos na figura 27.

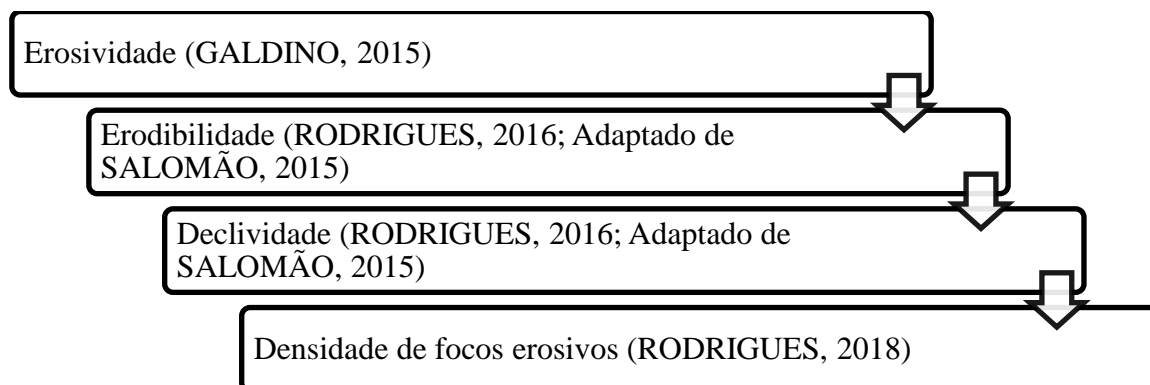


Figura 29. Fluxograma de dados de entrada cartográfica para elaboração do mapa de suscetibilidade à erosão linear do estado de Goiás e Distrito Federal.

A correlação entre esses dados foi obtida por análise geoestatística, visto que esta se configura em uma área da estatística aplicada que tanto desenvolve quanto aplica modelos para representar o ambiente, cujas propriedades variam em função da localização espacial dos pontos de observação (BETTINI, 2007). Como principal ferramenta para instrumentalizar essa correlação proposta foi utilizado o Geoprocessamento, que segundo Pedrosa e Câmara (2007) é uma tecnologia que historicamente enfatiza a representação de fenômenos espaciais no computador, de forma estatística.

Para tal, para cada método há a necessidade da definição de pesos e ponderação entre as variáveis que podem ser definidos por diversas metodologias (SAATY, 2008). O método geoestatístico adotado foi Escalonamento Multidimensional (EMD), apresenta-se como inovador para o atendimento do objetivo da presente pesquisa.

O EMD teve sua origem no final do século XIX com desenvolvimento de modelos para o campo da psicologia, no entanto no século XX houve um avanço para a aplicação do EMD por Torgerson (1958), e com a extensão dos modelos permitiu-se a aplicação nas mais diversas áreas (FÁVERO, et al., 2009). Silva, et al., (2013), utilizou o EMD como método no desenvolvimento do mapeamento de solos em uma fazenda experimental no município de Botucatu em São Paulo, no qual o EMD foi utilizado para testar a hipótese de diminuir a dimensionalidade do conjunto de atributos do solo, com base na média da probabilidade de agrupamentos das informações das características na espacialização.

O EMD é um método que se utiliza de técnica matemática de independência, permitindo mapear distâncias entre pontos em uma representação gráfica espacial, assim

como permite identificar dimensões chave inerentes à avaliações feitas. Representa medidas de similaridade ou dissimilaridade entre pares de objetos como distâncias entre as frentes de um espaço multidimensional de baixa dimensão (SIRECI, 1997). Subdivide-se em EMD não métrico para dados qualitativos, e EMD métrico para dados quantitativos

O EMD métrico foi adotado para espacialização dos dados, em formato quantitativo. Segundo Fávero, et al., (2009) os dados para o EMD métrico necessitam estar em uma escala quantitativa de intervalo ou de razão e dispostos de forma que o cálculo das distâncias da matriz apresentada na equação seja elaborado pela distância euclidiana ou das correlações entre os pares de objetos. Os autores salientam que tanto as distâncias quanto as correlações devem ser calculadas com as variáveis padronizadas, para que, diante do comportamento do dado, seja possível a identificação das similaridades e dissimilaridades de uma área, de forma a visualizá-las em um mapa.

O EMD é utilizado na redução da dimensionalidade, cujo objetivo é encontrar um conjunto de pontos em baixa dimensão que aproxime a configuração de provável alta dimensão representada pela matriz de proximidade original (GARCIA, 2015). Em um mapa síntese cria-se um novo sistema de coordenadas que facilita a interpretação das proximidades dos objetos.

Para o processamento e espacialização dos dados foi utilizado o *Software* ARCGIS, cujos dados (Erosividade, Erodibilidade, Declividade, Densidade de Focos Erosivos Linear) foram transformados em formato *Raster*. Os dados *Raster* foram reclassificados, em unidade, dezena, centena e milhar. Esses números, quando somados por *Algebra de Mapas*, transformam-se em uma síntese que representara as diversas variáveis em uma conjugação numérica matricial.

Os dados e seus índices, segundo o intervalo disposto para cada variável adotada (Quadro 7), assim como os dados quantitativos da reclassificação (Quadro 8) e as classes de suscetibilidade atribuídas, destinam-se à identificação correspondente do resultado matricial.

Quadro 7. Dados e classificações que compõem a matriz para elaboração da suscetibilidade à erosão linear.

Tabulação de dados (Variáveis adotadas)	Reclassificação (Identificação Numérica das Variáveis)	Classificação das variáveis quanto à suscetibilidade à erosão
6.882-7.779	1000	Pouco Suscetível
7.779-8.290	2000	Suscetível
8.290-8.760	3000	Moderadamente Suscetível
8.760-9.335	4000	Muito Suscetível

9.335-10.744	5000	Extremamente Suscetível
Erodibilidade	-	-
V	100	Pouco Suscetível
IV	200	Suscetível
III	300	Moderadamente Suscetível
II	400	Muito Suscetível
I	500	Extremamente Suscetível
Geomorfologia - Declividade	-	-
0-6	10	Pouco Suscetível
6.1-12	20	Suscetível
12.1-20	30	Moderadamente Suscetível
20.1-45	40	Muito Suscetível
>45	50	Extremamente Suscetível
Densidade de Focos Erosivos Linear		
0-0,18	1	Pouco Suscetível
0,18-0,28	2	Suscetível
0,28-0,38	3	Moderadamente Suscetível
0,38-0,78	4	Muito Suscetível
0,78-1,59	5	Extremamente Suscetível

Quadro 8. Matriz de Reclassificação dos dados *Raster*

Variáveis	Classificação	Extremamente Suscetível	Muito Suscetível	Moderadamente Suscetível	Suscetível	Pouco Suscetível
Erosividade		5000	4000	3000	2000	1000
Erodibilidade		500	400	300	200	100
Declividade		50	40	30	20	10
Densidade de Focos Erosivos Linear		5	4	3	2	1

Esses são valores atribuídos às classes das variáveis adotadas, pois que impedem sobreposição das informações. Fávero et al., (2009) explicam que para o EMD métrico os dados necessitam estar dispostos em escala quantitativa intervalar ou de razão, para que o cálculo da matriz apresentada na equação seja elaborada pela correlação entre os pares dos objeto. A correlação deve ser calculada com as variáveis padronizadas e suas métricas classificadas como similaridade ou dissimilaridade, sendo utilizadas para determinar quais objetos são os mais semelhantes entre si e quais são os mais distintos. Assim, se obtém dados a serem inseridos para o processamento por *Álgebra de Mapas*, ou seja, realizando uma soma dos dados correspondentes às variáveis adotadas.

O produto da *Álgebra de Mapas* corresponde à junção da matriz de similaridade em um único dado *Raster* em um mapa síntese, que no pós-processamento é transformado em *Polígono*. Os valores impressos no *Shapefile* necessitam de interpretação por análise de multicritérios. De acordo com Baca, et al., (2007), em uma matriz de área de dados matriciais, cada célula representa uma determinada localização no terreno e a *Álgebra de Mapas* possibilita a realização da soma dos dados, resultando no agrupamento das células da matriz por semelhança ou dissemelhança. Um exemplo de um valor processado (5425) esse valor corresponde a um polígono que se formou por similaridade e decompondo este valor há a possibilidade de identificar a equivalência desse polígono (Quadro 9).

Para a tomada de decisão, na interpretação há uma comparação dos pares que compõem a matriz, Saaty (2008) explica que cada elemento em um nível superior é usado para comparar os elementos no nível imediatamente abaixo em relação a ele, fazendo isso em relação à cada elemento que compõem o resultado espacial gerado. A escala numérica que indica a classe vai mostrar quais classes predominam, para então se realizar a ponderação dos pesos para determinar uma classe em detrimento à outra.

Quadro 9. Exemplo de interpretação por correspondência atribuída ao polígono (5425).

Matriz descritiva do polígono - 5324			
Classe de Entrada	Nº de reclassificação	Classes Correspondentes	Interpretação Correspondente
Erosividade	5000	Extremamente Suscetível	Extremamente Suscetível
Erodibilidade	400	Muito Suscetível	
Declividade	20	Suscetível	
Densidade de Focos Erosivos Linear	5	Extremamente Suscetível	

Posteriormente, a interpretação das correspondências dos dados foi feita por comparação com os dados primários, visando identificar se ocorreu alguma discrepância nas interpretações das correspondências, visto que os dados utilizados já estavam dirigidos à temática da erosão, considerando-se as variáveis indicadas na literatura e nos paradigmas de origem do processo. Isso feito procedeu-se à validação do resultado espacial, diante da necessidade exposta por Silva, (2007), para quem a verificação da validade deve feita pela inspeção da eventual presença de erros de inclusão ou exclusão como consequência das definições executadas.

Modelos espaciais para proximidades no EMD consistem em uma representação espacial de uma matriz de proximidades de um conjunto de coordenadas dimensionais, em que cada uma das quais representa uma das unidades nos dados. Fávero, et al., (2009) explicam que o EMD possui como objetivo a criação de um mapa cuja inspeção visual oferece grande auxílio na interpretação.

Por fim, o dado gerado segundo suas correspondências é especializado e tabulado, o que é fundamental ao estudo desenvolvido.

B - ESCALA LOCAL

4.4. Estudo Detalhado das Áreas Críticas

4.4.1. Densidade dos focos erosivos e critérios de delimitação das áreas críticas

A identificação e seleção das áreas críticas está intimamente ligada aos objetivos do trabalho, assim como à problemática. 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 Polígono, e sobrepondo com o *Shapefile* de focos erosivos, visualmente identificando os intervalos que correspondia às áreas críticas. Optando-se pela extração em formato de *Shapefile* essas áreas, cujos intervalos que as compõem varia de 0,28 à 1,59 (número correspondente aos focos por km²). Para o trabalho dessas informações foi utilizado o *Software* ARCGIS.

Este ponto do estudo completa uma segunda etapa que envolve a delimitação segundo os mapeamentos realizados das áreas críticas, no que tange aos processos erosivos mapeados. Assim como elucidada o que Baccaro (1999), que nesse nível de abordagem mais detalhado é necessário o levantamento, e mapeamento em escala de detalhe. E para tanto seguiu-se a elaboração de mapas refinados para essas áreas críticas extraídas do mapa de focos erosivos.

4.4.2. Compartimentação morfopedológica e focos erosivos

Diante da escala 1:250.000, não havendo possibilidade de aquisição de uma base cartográfica mais refinada, faz-se necessário o refinamento dos limites, para serem interpretados e correlacionados ao estudo dos processos erosivos.

O mapa geológico compilado de Moreira (2008), do qual serão recortadas as áreas críticas de ocorrência de erosões e procederá nesse recorte ao tratamento e refinamento

cartográfico utilizando o *Modelo Digital de Elevação* (MDE), elaborado a partir de imagens SRTM, no *Software* ARCGIS. O ajuste dos limites será realizado para cada classe de litotipo identificado na área, de forma supervisionada, utilizando-se a ferramenta de edição, e posteriormente transformando-as em novos polígonos e exportadas no formato *Shapefile*. A seguir passa-se à interpretação buscando distinguir as diferentes litologias, agrupadas em função do seu comportamento frente aos fenômenos de ravinamento e voçorocamento.

O mapa geomorfológico compilado de Latrubesse; Carvalho (2006), o qual, assim como o geológico, passou por tratamento e refinamento cartográfico sobrepondo a hipsometria, declividade e MDE elaborados a partir de imagens SRTM, no *Software* ARCGIS. Depois foi interpretado buscando-se distinguir áreas indicativas de cabeceira de drenagem e áreas homogêneas no que se refere aos sistemas/formas de relevo e feições geomorfológicas (FLORENZANO, 2008).

O mapa de solos foi compilado de Oliveira (2014), o qual ainda passou por tratamento e refinamento cartográfico sobrepondo a hipsometria, declividade e MDE elaborados a partir de imagens SRTM, no *Software* ARCGIS. Posteriormente será interpretado buscando agrupar os solos das áreas críticas com características comuns quanto à profundidade, textura, gradiente textural e organização estrutural.

A compartimentação morfopedológica foi elaborada a partir da proposta de Tricart; Kílian (1978), com adaptação de Castro; Salomão (1999). A compartimentação corresponde à delimitação de áreas homogêneas produzidas pela convergência dos atributos da geologia, geomorfologia e dos solos que configuram uma dada fisiografia da área e caracterizam sua paisagem. A proposição de delimitação dos compartimentos morfopedológicos será realizada com base na correção espacial positiva entre dados cartográficos organizados, e criando um novo *Shapefile*, (HERMUCHE; GUIMARÃES; CASTRO, 2009). Para tanto, o procedimento utilizará o *Software* ARCGIS. Castro; Salomão (2000) salientam que um zoneamento da paisagem como a compartimentação morfopedológica pode auxiliar na compreensão dos condicionantes que favorecem ou não aos impactos erosivos. Em cada compartimento foi elaborado um perfil topográfico representativo, o perfil e realizado com base nas imagens SRTM, e será utilizado o *Software* GLOBAL MAPPER.

A compartimentação morfopedológica (CMP), segundo Castro e Salomão (2000), é elaborada por correlação e análise integrada dos condicionantes físicos-ambientais geologia, solos e geomorfologia que permitem a identificação de unidades de paisagem. A compartimentação foi adotada como recurso metodológico para estudo das áreas críticas diante da necessidade do exame aprofundado das variáveis físicas, pois considerando Tricart

(1977), o exame da degradação deve ser realizado simultaneamente, sob os diversos aspectos, visto que se condicionam uns aos outros.

O uso da CMP vem aumentando nas últimas décadas como recurso metodológico para análise integrada do meio físico em estudos no estado de Goiás como os de Barbalho (2002), Oliveira e Castro (2006), Santos; Bayer; Carvalho, (2008); Hermuche; Guimarães; Castro, (2009); Faria et al., (2013), Rodrigues e Castro (2013), Barbalho e Castro, (2014); Nunes e Castro (2015) e Ponciano; Rodrigues; Faria (2019). Em alguns desses estudos a compartimentação morfopedológica subsidiou o entendimento da dinâmica de ocorrência de erosões hídrica linear na região sudoeste do estado de Goiás, em especial na alta bacia rio Araguaia, foram estudos desenvolvidos por Barbalho (2002); Oliveira e Castro (2006); Nunes e Castro (2015).

Na presente pesquisa, os mapas temáticos da geologia, geomorfologia (hipsometria e declividade) e solos foram correlacionados espacialmente, de modo a identificar os CMPs (Castro e Salomão, 2000) das AMCs, os quais foram correlacionados ao mapa de focos erosivos de modo a identificar sua distribuição preferencial. Os limites dos CMP obedeceram a linhas de contraste da declividade, da hipsometria e do modelo digital de elevação. Assim, procedeu-se à tabulação dos dados e ao reconhecimento dos condicionantes físico-ambientais reconhecíveis do processo erosivo e respectivos CMP, na escala adotada.

A compartimentação auxiliou a identificar os dados físicos que apontam a ocorrência de solos considerados frágeis, de textura média a arenosa, ou mesmo associações de solos que indicam a predominância de classes frágeis, diante da suscetibilidade e erodibilidade, uma variável que fisicamente responde o potencial de ocorrência de erosão nas áreas de densidade de focos.

Outro ponto a ser exposto também foi à associação do uso ocupação e os focos, realizada para as áreas classificadas como críticas (AMC), e para identificar o uso e cobertura e remanescentes de Cerrado da área, no intuito de obter dados de quais estruturas de paisagem ocorre os focos erosivos. E para tal foi abordado a relação do uso e fragmentação da cobertura das duas áreas críticas, utilizando ainda os compartimentos para ampliar o estudo.

4.4.3. Mapa de erodibilidade e cruzamento com os focos erosivos

A erodibilidade foi elaborada com base no novo mapa de solos do estado de Goiás (OLIVEIRA, 2014), aplicando-se os procedimentos e os índices de erodibilidade propostos por Salomão (2015) com base nos dados de referência de Bertoni; Lombardi Neto (1985),

expressos no ítem 4.3.1 e quadro 1, deste capítulo. E diante o mapa finalizado foi recortado o dado para as áreas consideradas críticas, na possibilidade de ampliar as variáveis de estudo, da suscetibilidade identificada para essas áreas. E para a operacionalização dos dados foi utilizado o *Software* ARCGIS.

4.4.4 Elaboração do mapa preliminar de suscetibilidade à erosão laminar

O mapa preliminar de suscetibilidade à erosão laminar foi produzido para todo o estado de Goiás e Distrito Federal, descrito no item 4.3.2 e quadro 2 deste capítulo e diante o dado final foi possível recorta-lo para estudo detalhado das áreas críticas, utilizando o *Software* ARCGIS para operacionalizar o procedimento.

4.4.5. Elaboração do mapa das linhas de fluxo das terras e cruzamento com os focos erosivos

O escoamento superficial pode ser medido diante o comprimento de fluxo que corresponde a distância ao longo do ângulo de declive no terreno, do topo ao exutório. Para elaboração o mapa de linhas de fluxo foi utilizado a equação de Bertoni e Lombardi Neto (1990), que possui modificações que atendem às condições ambientais brasileiras:

$$LS = 0,00984 \times L^{0,63} \times S^{1,18}$$

Foi realizando a extração das direções de fluxos de forma automatizada dos valores dos pixels do MDE, que possui o encadeamento dos lineamentos de fluxos mapeados. Todo o procedimento foi realizado no *Software* ARCGIS, utilizando o módulo, Ferramentas de Análise Espacial, tratando a direção de fluxo utilizando o submódulo Hidrologia e, por conseguinte a ferramenta de comprimento de fluxo adotando as quebras naturais.

4.4.6. Compilação e interpretação do mapa de uso e cobertura das terras

O mapa de uso das terras e vegetação remanescente para todo o estado de Goiás e Distrito Federal foi compilado do MapBioma, para o ano de 2016, ano correspondente do mapeamento dos focos erosivos linear, para haver uma correlação espacial de um mesmo período, assim como descrito no item 4.2.2.8 deste capítulo, e mediante o estudo das áreas críticas o uso foi compilado também do mesmo período, por uma necessidade de manter um padrão de correspondência de dados. Para o desenvolvimento deste procedimento foi utilizado o *Software* ARCGIS.

Os dados do MapBioma são desenvolvidos utilizando imagens de satélite Landsat, com resolução de 30 metros, como resultado final tem-se o mapa na escala de 1:150.000, assim sendo este dado o de maior detalhe disponibilizado para todo o território trabalhado na pesquisa (MAPBIOMAS, 2019).

4.4.7. Extração das métricas da paisagem da fragmentação da cobertura das terras das áreas críticas

Mediante o dado de uso ocupação e remanescentes de Cerrado para as áreas críticas foi possível seguir para a avaliação da fragmentação da paisagem foi utilizado o *Software* ARCGIS (MACGARIGAL; MARK, 1995). Os dados de uso e cobertura das terras compilados do MapBiomas para o ano de 2016, foram organizados no ARCGIS possibilitam a análise dos fragmentos da paisagem com base nas métricas selecionadas para dimensionar os fragmentos. A métrica selecionada e extraída é descrita no quadro 10.

Quadro 10. Descrição da métrica de paisagem de acordo com sua categoria.

Métrica	Categoria	Descrição
CA	Área/densidade/borda	Área de classe é a área (ha) de todos os fragmentos de classe. Maiores valores de CA indicam domínio da matriz.
PLAND	Área/densidade/borda	Porcentagem de fragmentos de mesma classe na paisagem. A interpretação de PLAND é a mesma descrita para CA, porém expressa em porcentagem.

Fonte: MCGARICAL; MARKS, 1995.

4.4.8 Suscetibilidade à erosão hídrica linear e para as áreas críticas

A suscetibilidade à erosão hídrica linear elaborada para todo o estado de Goiás e Distrito Federal, descrita neste capítulo no item 4.3.6, tornou-se um dado que serviu de base para o recorte para as áreas críticas identificadas. Utilizando o *Software* ARCGIS, o dado foi extraído e analisado para cada área crítica, correlacionado também com os demais dados já produzidos para as áreas críticas.

4.4.9 Proposição metodológica para obtenção de indicadores de erosão hídrica linear

Para estabelecer os indicadores da erosão hídrica linear, relativos aos condicionantes, os quais são amplamente conhecidos, é importante tomá-los como variáveis do fenômeno e mapeá-los. Para tanto, o SIG é uma ferramenta fundamental por permitir tratá-los individualmente para depois proceder aos possíveis inter cruzamentos na forma de matriz de correlação (PNUMA-CIAT, 1996), constituída por dados e que se torna um instrumento analítico. Tal matriz permite organizar e agrupar, de maneira lógica, os fatores que condicionam a problemática trabalhada, no caso a erosão hídrica linear (GUIMARÃES, et al., 2010).

Para identificação dos indicadores da erosão hídrica linear das áreas selecionadas por serem as mais críticas, foram trabalhados as variáveis relativas aos aspectos físicos e às atividades humanas, tanto na forma de compilação como de dados tratados, isto é, inter-relacionados. Para tanto, foi necessário realizar um estudo multiescalar de dados, inicialmente em escala regional e posteriormente em escala local, de modo possibilitar a identificação e ponderação de quais variáveis possuem peso e qual para fins da avaliação. O Quadro 11 apresenta as categorias, os elementos, os descritores relativos aos respectivos indicadores.

Diante do exposto, os indicadores selecionados e respectivos na escala regional e local pesos foram:

- na escala estadual (1:250.000; 1:150.000; 1:100.000)
- na escala local (1:30.000; 1:15.000)

Quadro 11. Categorias, elementos, descritores e indicadores de erosão hídrica linear adotados com os respectivos pesos

Categoria	Elemento	Descritores	Indicadores
Recursos Físicos	Solos – Classe/Textura	Erodibilidade	Solos de maior suscetibilidade a erosão (Área/%).
	Clima - Chuvas	Erosividade	Áreas de maior índice de erosividade (Área/%).
	Distribuição de Focos erosivos lineares	Feições Erosivas Lineares	Densidade de focos por número de erosão em km ² (Área/%).
	Geologia	Compartimentação Morfopedológica	Unidades de paisagem (Área/%).
	Geomorfologia		
Solo			

	Vegetação	Remanescentes	Fragmentos de vegetação remanescente (Área/%).
Atividade Humana	Uso das Terras	Tipos de uso/ocupação	Atividades econômicas desenvolvidas (Área/%).

A correlação e análise dos dados e suas respectivas classes foi realizada com ênfase aos valores em área segundo a maior ou menor de cada atributo, atribuindo pesos de 0 a 5 para identificar quais elementos da paisagem foram preponderantes nas áreas de críticas.

4.4.10 Análise dos Resultados

Etapa dedicada a análise e discussão dos resultados da pesquisa desenvolvido no intuito de testar a hipótese levantada, e mediante os resultados que possibilitaram a interpretação e finalização.

CAPÍTULO 5

DISTRIBUIÇÃO DE FOCOS EROSIVOS E CONDICIONANTES DA EROSÃO HÍDRICA NA ESCALA ESTADUAL

Este capítulo trata da distribuição dos focos erosivos no estado de Goiás e Distrito Federal, bem como dos seus condicionantes na escala estadual e identifica as áreas críticas, as quais serão melhor avaliadas no capítulo 6 adiante.

O estado de Goiás há muito já vem necessitando de um mapa de focos erosivos lineares para auxiliar a gestão, por ser fundamental para identificar as áreas de maior e menor probabilidade de ocorrência de focos erosivos lineares ou para detectar as áreas afetadas e do seu grau de criticidade apoiado em diversos parâmetros. Para tanto, imagens de satélite em média e alta resolução, bem como mapas temáticos produzidos para todo o estado de Goiás e Distrito Federal, como Geologia, Geomorfologia, Solos, Erodibilidade, Erosividade, Suscetibilidade à Erosão Laminar, já estão disponíveis oficialmente.

5.1 Distribuição e Densidade de Focos Erosivos

Dada a necessidade de dados de qualidade relativos à erosão, visto que o solo é base da economia do estado de Goiás, os focos erosivos lineares foram mapeados na escala 1:15.000 para o inventário dos mesmos, para o ano de 2016, por uma varredura das imagens de alta resolução do satélite GeoEye -1, mapeamento por pontos, em que cada ponto significa um foco, ramificado ou não, cujos resultado em nuvem de pontos foi submetido a geoprocessamento e tratamento geoestatístico quanto às densidades por km², e desse modo permitir a identificação das áreas mais. Os mapas de focos e de isodensidade dos focos são apresentados nas figuras 30 e 31.

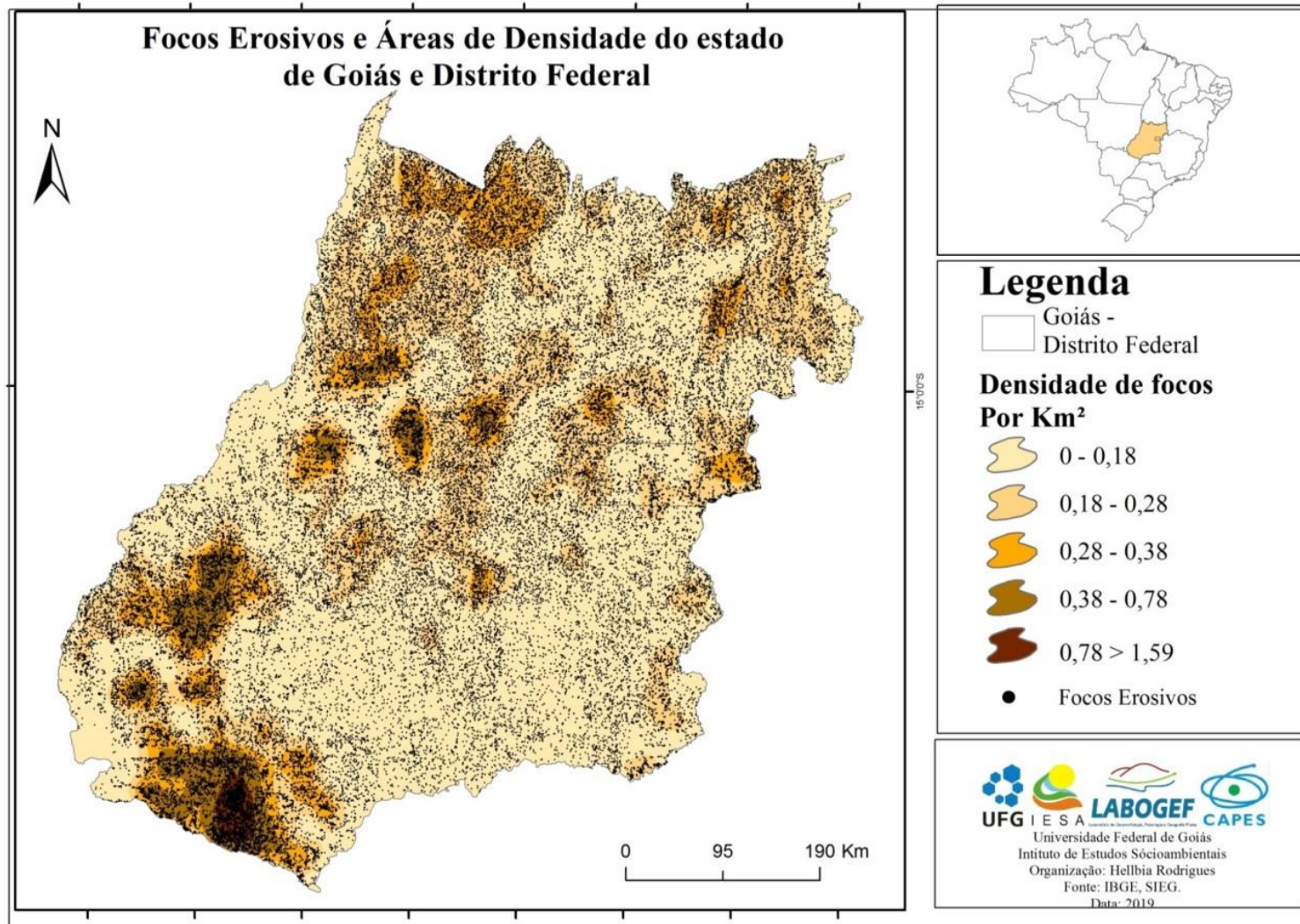


Figura 30. Focos Erosivos Lineares e Densidade de Focos Erosivos Lineares do estado de Goiás e Distrito Federal, 2016.

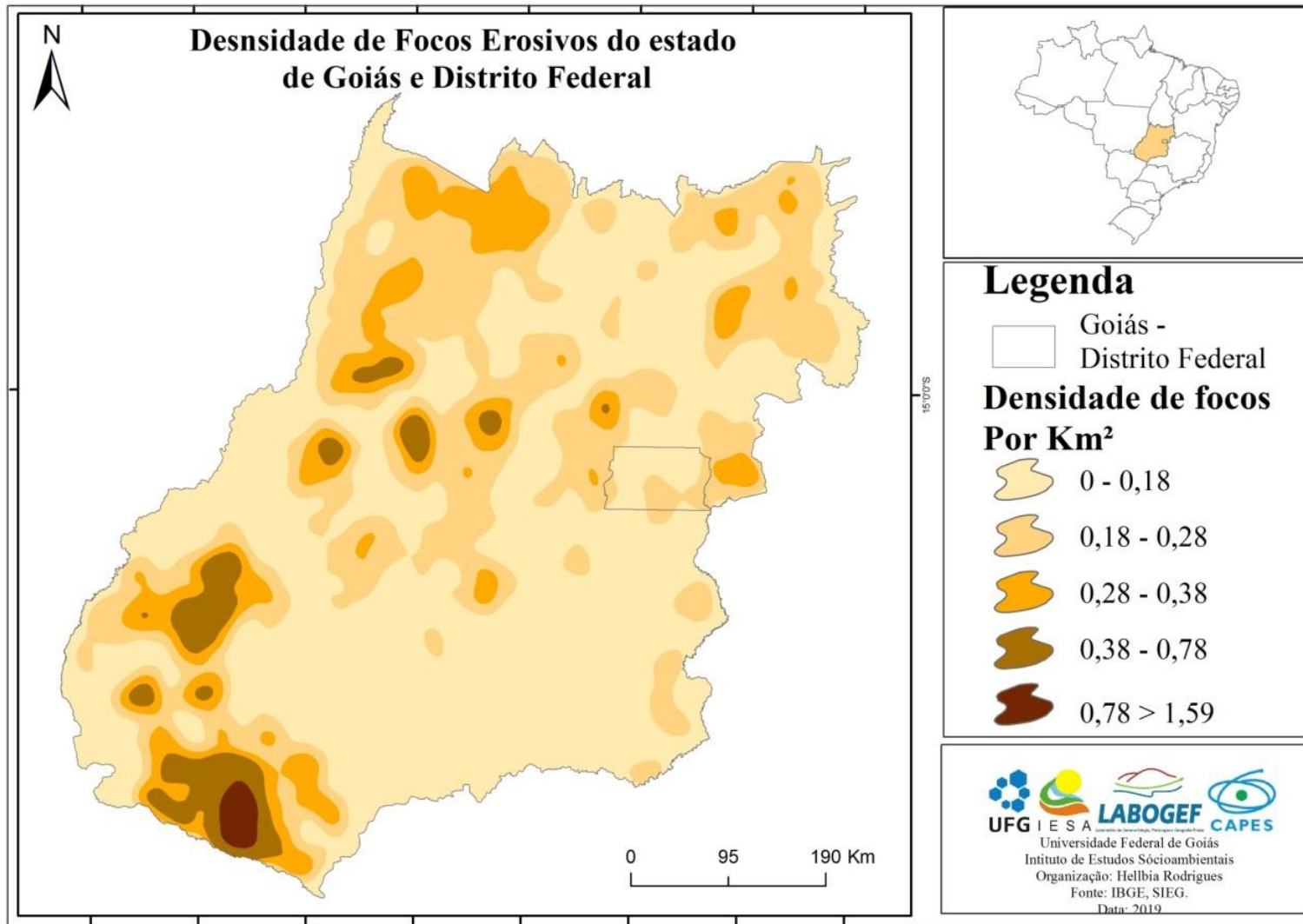


Figura 31. Densidade de Focos Erosivos Lineares do estado de Goiás e Distrito Federal, 2016.

O mapa de focos de focos erosivos lineares (Figura 30) indica a presença de 67.043 focos erosivos lineares identificados na escala adotada de 1:15.000 e 1:8.000 quando necessária a confirmação do foco erosivo. O mapeamento trabalhou com ravinas bem como com voçorocas, de pequeno e médio porte, no entanto os sulcos, dado seu tamanho muito reduzido, não foram mapeados.

O mapa de focos e o de densidade/km² (Figura 30, 31) permitem perceber claramente uma distribuição espacial preferencial dos focos no estado de Goiás e Distrito Federal do ano de 2016, configurando concentrações ou agrupamentos (*clusters*), que devido à proximidade dos pontos, configuram zonas mais escuras (figura 30). As densidades predominantes para todo o Estado variaram de 0 à 18 focos/Km² na escala adotada, correspondendo às áreas de mínima e máxima ocorrência de focos erosivos, respectivamente.

Observando-se as Figuras 30 e 31, pode-se constatar que a área de maior densidade de focos erosivos lineares do Estado se localiza na Mesorregião Sul Goiano, mais especificamente na porção sudoeste. A densidade varia de 0 à > 1,59 focos/Km², e os de grandes dimensões, situam-se preferencialmente em ambientes sustentados por arenitos da formação Botucatu/Pirambóia e do Grupo Bauru, em Superfícies Regionais de Aplainamento (SRA), onde a declividade varia de 0 à 12%. Trata-se de relevo suave, com topos amplos e encostas igualmente suaves configurando rampas longas, mas os solos são considerados frágeis, como os Neossolos Quartzarênicos associados à Latossolos Vermelho-Amarelos de textura média a arenosa, ocupando extensa área. São solo de muito alta erodibilidade, com alta densidade de rede de drenagem e predomínio de pastagem com remanescentes de Cerrado fragmentados.

Tais dados corroboram diversos estudos anteriores realizados nos últimos 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 de grande porte, nos 62.000 km². Com relação à densidade dos focos, utilizando a ferramenta Kernel do ARCGIS, a autora constatou que os focos se apresentavam distribuídos de forma concentrada, configurando agrupamentos, tratados como polígonos, que coincidiam com áreas de alta erodibilidade, dominadas por Neossolos Quartzarênicos, associados à pastagem e estradas mal planejadas. Ao trabalhar a pluviometria e a erosividade da ABA, a autora detectou a presença de epicentros de chuvas que coincidiam com esses polígonos contendo a maior densidade de focos. Contudo, a erosividade, caracterizada como tipicamente tropical, não foi determinante, pois não revelara a mesma correlação espacial.

Como relatado por Barbalho (2003) e Castro (2005), esse setor foi intensamente estudado em escalas de detalhe (1:50.000 e maiores), por ser considerado de elevada concentração de focos erosivos lineares de médio a grande porte. No setor sul da ABA, o das nascentes (com pouco mais de 1.500km² de área), foi também estudo, desta feita em escalas de detalhe, pois os focos constituam a área mais grave da bacia, por serem numerosos e de muito grande porte (23 ao todo em 1998), podendo mesmo atingir de >1 a 4 km de extensão, em seu eixo maior.

Esses focos identificados por Barbalho (2003) e Castro (2005), foram cadastrados pelo IPT Instituto de Pesquisas Tecnológicas e São Paulo (IPT, 1998) e a extinta METAGO – Metais de Goiás (IPT/METADO, 1998). E mais de 10m de profundidade, alguns apresentando sistema de cortes e preenchimentos sucessivos e algumas 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 no córrego Jacuba bem como pela Universidade Federal de Goiás/Laboratório de Geomorfologia, Pedologia e Geografia Física (UFG/LABOGEF) por Silva (2000). Na maioria surgiram na década de 1981, quando a fronteira agrícola lá chegou, (SILVA, 2000; CASTRO, 2005).

Nunes (2015) aprofundando o estudo para o município de Mineiros e arredores, nesse Setor Sul, identificou 3 áreas críticas, de maior densidade de focos, uma a noroeste, outra a oeste e uma a sudeste, todas com Neossolo Quartzarênicos desde o topo dos interflúvios ou nos seus terços médio e inferior, todos submetidos a pastagens. Nunes e Castro (2015), aponta para uma interpretação para as áreas de densidade de focos, para os quais estão 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, usadas com pastagens e apresentando numerosos trilheiros de gado, cercas de divisa e estradas vicinais sem medidas preventivas de controle de enxurrada.

Marinho et al (2006) caracterizaram o comportamento dos solos e da ocorrência erosiva desse setor, e monitoraram o lençol freático. Identificando a sucessão lateral de Neossolos Quartzarênicos órtico, Neossolos Quartzarênicos hidromórficos e Gleissolos, 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.

Em Mineiros, Nunes e Castro (2015) trabalhando em escala ainda de maior detalhe (1: 2000) e com imagens de alta resolução, contabilizaram 5.678 focos erosivos sobre imagem Spot disponível no Google Earth e RapidEye, identificando desde pequenas ravinas até grandes voçorocas, cobrindo uma área afetada de aproximadamente 2.658,24 ha. Também identificaram áreas de densidade alta que variam de 0,28 à > 1,59 focos/km², contribuindo diretamente para o assoreamento de canais fluviais, em especial do rio Araguaia. Os autores ainda afirmaram que as ocorrências erosivas, assim como a concentração dos focos erosivos, possuem estreita relação com as características morfométricas e morfográficas da área, em geral com valores sempre mais altos de potencial gravitacional, volume escoado e total precipitado, convergência lateral de fluxo, vazão do escoamento superficial e amplitude intraclasse, do que das demais áreas com menor densidade ou ausência de focos erosivos.

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 à 0,78 focos/Km². Há na área um mosaico diversificado de solos com Argissolos, Plintossolos, Latossolos, e predomínio de classes de baixa erodibilidade. O predomínio de pastagem como principal uso, associado a SRAs, os Morros e Colinas descontínuos constituem áreas preferenciais, mas as áreas de maior densidade de focos erosivos está ligada diretamente às áreas de alta erosividade, contrariamente à Alta Bacia do rio Araguaia (ABA) e seu setor Sul. Entretanto, na mesorregião Noroeste chama a atenção o número elevado de focos por estar associado à rede de drenagem, assim como às estradas e a trilheiros de gado em áreas de pastagem. Ferreira; Ferreira; Lobo, (2007) realizaram um estudo dessa região, avaliando o risco de desmatamento, classificando-o como de alto risco por ser favorável à conversão do Cerrado em áreas de agricultura e sobretudo de pecuária extensiva. Dados recentes do MapBioma (2016) mostram que a área já está altamente fragmentada. Os focos estão ligados à atividade humana sendo possível identificar que na mesorregião Noroeste os focos erosivos estão associados aos manejo inadequado das terras.

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 para obter o padrão e a textura da drenagem, um dado 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 à 0,38 focos/Km², 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. É preciso observar que há limitações para se detectar áreas erodidas via SR em ambientes com cobertura vegetal, assim como o sombreamento do relevo das bordas das encostas, o dificulta a visualização (VRIELING, 2006). No caso da mesorregião Norte Goiano, a maior densidade de focos está claramente associada à pastagem e trilheiros, apresentando-se como pequenas ravinas sem cortes abruptos, mas esse número pode ser maior, por de ser uma área de relevo movimentado.

Na porção Central do estado de Goiás, a mesorregião do Centro Goiano, a densidade de focos que varia de 0 à 0,78 focos/Km². A dimensão dos focos erosivos variou, 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 SRAs como a III e IV, a ZER e pequenas ocorrências de Morros e Colinas, cujas declividades variam de 0 – 20% e os solos configuram um mosaico de Latossolos Vermelhos, Argissolos Vermelho-Amarelos e Cambissolos, este dois últimos de maior erodibilidade.

- A Região Metropolitana de Goiânia.

Goiânia já possui vários estudos sobre erosão urbana, incluindo cadastramento e monitoramento de focos erosivos, como os realizados por Nascimento (1992), Nascimento e Sales (1994), Santos (1997), Faria (2007) e Cavalcante (2019). Um fator condicionante da erosão é a falta ou ineficiência de infraestrutura nos bairros espontâneos, 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 (CAVALCANTE, 2019).

Na mesorregião do Leste Goiano as densidades variam de 0 - 0,78 focos/Km², situadas preferencialmente em terrenos onde predominam substratos Laterita, Argila e Areia; Depósitos de areia; Filito e Quartzito, sustentando SRAs II e III e sua circundante ZER. Quanto aos solos, há um mosaico diversificado, contendo Latossolos Vermelhos, Latossolos

Vermelho-Amarelos, Argissolos Vermelho-Amarelos e Cambissolos, cuja erodibilidade pode ser baixa (Latosolos), moderada (Argissolos) e até alta (Cambissolos). Mas, a erosividade é baixa, não se notando um padrão de correlação quanto a esse aspecto. Ainda nessa mesma região ocorrem áreas de alta densidade de focos variando entre 0,18 - 0,38 focos/Km², 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; Faria, (2019), que realizaram avaliação da estrutura da paisagem utilizando a compartimentação morfopedológica 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. Há uma importante variação no número de focos, assim como na sua respectiva dimensão, pois na mesorregião Sul os focos 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, sua distribuição, permite constatar uma correlação entre as maiores densidades de focos e determinados fatores do meio físico e mesmo de uso ocupação, ou seja, com a fragilidade de certos litotípos e solos associados 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, em especial quanto às grandes ravinas e as voçorocas, mas, não se podendo descartar a relação entre um número elevado de focos e 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 sobressai é a associação com a impermeabilização do solo, a ocupação inadequada

dos terrenos e a falta de infraestrutura para disciplinamento de águas pluviais (sistema de drenagem urbana), como enfatizado 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 são em sua maioria pequenas ravinas e 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.

5.2. Condicionantes dos processos erosivos hídricos

5.2.1. Erodibilidade e sua relação com substrato e relevo

O solo é um recurso natural e pode tanto ser suscetível como não ao processo erosivo, e mesmo assim desenvolvê-los. Uma das variáveis que influencia a sua maior ou menor resistência a esse processo está ligada às suas propriedades físicas do solo, em particular a textura (SALOMÃO, 2015). Essa propriedade física está ligada ao tamanho das partículas, e na subsequente capacidade de infiltração ou mesmo retenção da água.

A erodibilidade é fundamental em uma análise voltada para a identificação de áreas suscetíveis à erosão, pois, a estrutura, o modo como as partículas de solos se arranjam influencia diretamente na infiltração/percolação, assim como na absorção da água de chuva e na capacidade de arraste das partículas do solo (SALOMÃO, 2015).

Na Equação Universal de Perda do Solo (EUPS), a erodibilidade é expressa pelo índice K, o qual é um fator necessário à avaliação pelas consequências que o uso inadequado das terras pode trazer ao meio, além dos gastos adicionais no manejo e conservação dos solos. Some-se a isso que a espacialização da erodibilidade expressa em mapa pode auxiliar na redução do dano ambiental e em menor custo de produção (SCOPEL; SILVA, 2001). Estes autores publicaram um mapa de erodibilidade do estado de Goiás, em escala um tanto reduzida e apoiados nos critérios usuais.

Pensando na necessidade de avaliar a erodibilidade do estado de Goiás e Distrito Federal de forma que se possa quantificar cada classe e podendo salvar o resultado em *Shapefile*, além de realizar outros cruzamentos comas demais variáveis, foi elaborado um mapa de erodibilidade a partir de dados atualizados de solos produzidos por Oliveira (2014).

Nesse sentido, foram aplicados os índices de erodibilidade adaptados por Salomão (2015), com base em Bertoni; Lombardi Neto (1985) (Tabela 6 e Figura 32).

Tabela 6. Erodibilidade do estado de Goiás e Distrito Federal.

Erodibilidade	Km2	%
Massa de Água	2.660,93	0,76
AR	1.012,44	0,29
AU	2.374,45	0,68
Classe I – Muito alta	126.883,49	36,67
Classe II- Moderada	29.186,00	8,43
Classe III- Moderada	511,26	0,14
Classe IV- Baixa	151.828,46	43,89
Classe V – Muito Baixa	31.469,02	9,09
Total	345.926,08	100

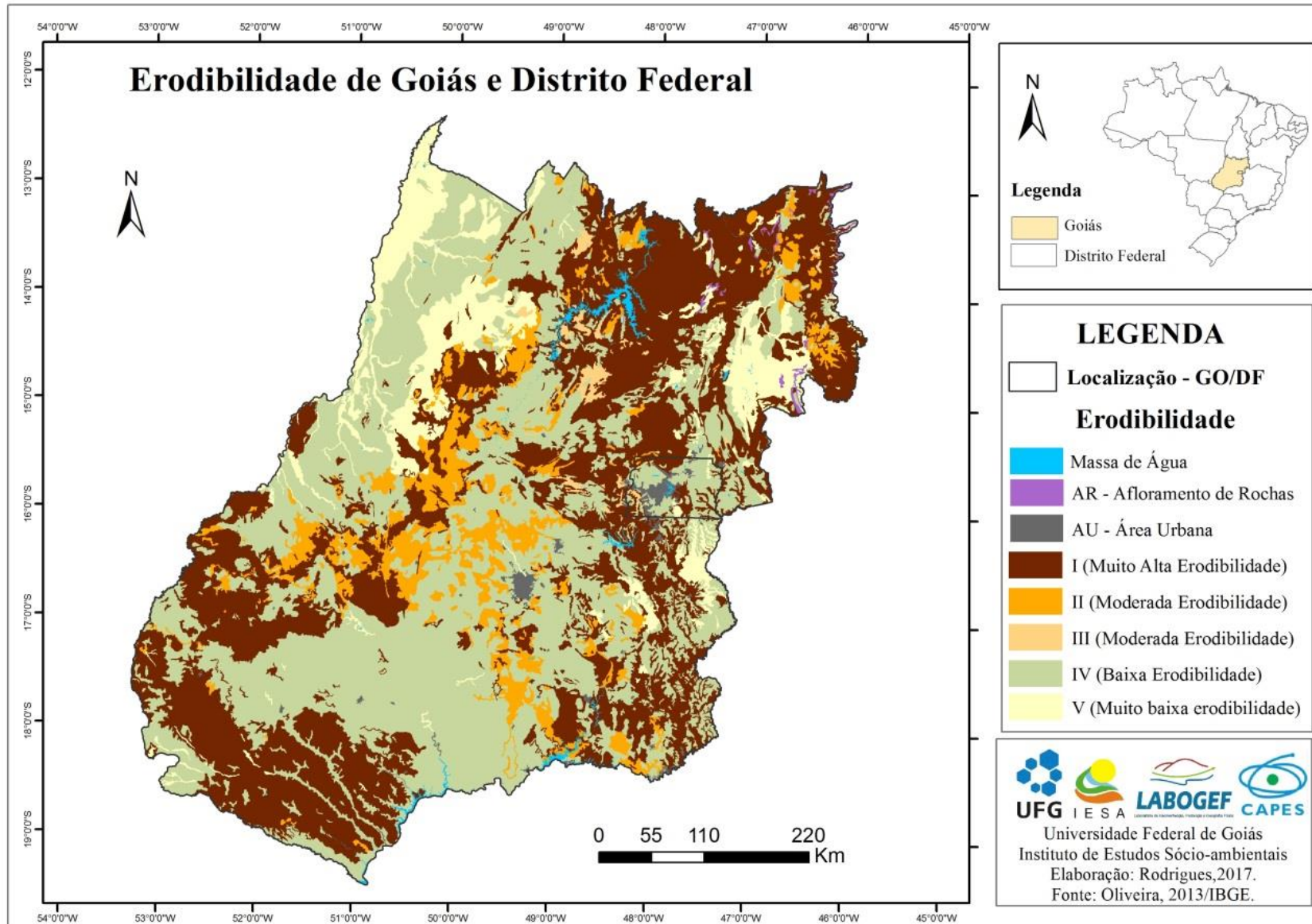


Figura 32: Erodibilidade do estado de Goiás e Distrito Federal.

As Classes IV e I dominam largamente no Estado e juntas somam mais de 80% da sua área. As duas classes são opostas, sendo a IV de baixa e a I de muito alta erodibilidade. As classes de maior erodibilidade para todo o Estado correspondem um total de 45,24% (Classes I, II, III), já as de baixa a muito baixa correspondem à 52,98% (Classes IV, V), o restante das áreas referem-se à massa d'água, área urbana e afloramento rochoso representando um total de 1,73%. Diante desses dados é possível observar que o Estado possui uma área considerável de solos com erodibilidade a ser levada em consideração no uso ocupação correspondente à 45,24%, por requerer atenção quanto à sua estrutura física. No entanto, os 52,98% de áreas muito embora consideradas de baixa ou muito baixa erodibilidade, necessitam também de cuidado no manejo, pois só o fator físico de composição do solo não evita o impactado de erosão, se não houver disciplinamento adequado da rede de drenagem, assim como manejo adequado do uso a ser implementado na área, pode sim provocar impactos ter erosões do solo.

A classe IV de baixa erodibilidade, cujos índices de erodibilidade correspondem de 4,0 a 2,1, é a de maior extensão, correspondendo a aproximadamente 43,89% do Estado, associada às áreas em geral de Latossolos Vermelhos de textura média e argilosa. Cobrem grande extensão da Mesorregião Sul e uma extensa faixa na porção Norte, associando-se a ambientes cujas declividades variam de planas a suave onduladas, relacionadas comumente aos topos das Superfícies Regionais de Aplainamento (SRA).

A classe I é a segunda de maior ocorrência, que corresponde a 36,67% da área do Estado, sendo áreas de muito alta erodibilidade, cujo índice varia de 10,0 a 8,1. Localizada na porção Norte do Estado, associada a Cambissolos e relevos movimentados, de Morros e Colinas, além de Neossolos Quartzarênicos, de textura arenosa, na Zona de Erosão Recuante que bordejia as SRA. Salomão (2015) explica que os horizontes superiores do solo são uma das características mais importantes em relação ao comportamento, e portanto os solos do tipo Neossolos Quartzarênicos e Argissolos são mais suscetíveis à erosão que os Latossolos, por serem, respectivamente arenosos ou apresentarem horizonte A mais arenoso.

As demais classes (II, III e V) somam pouco mais de 19% da área total do Estado e especificamente para Brasília, também predomina a classe IV - de baixa erodibilidade, associada aos Latossolos Vermelhos. Os ambientes de classe I - de muito alta erodibilidade - ocorrem em manchas concentradas na porção Centro-sul e extremo Sudoeste, Sudeste e Norte, em áreas de ocorrência de Cambissolos, associados a Zonas de Erosão Recuante do Planalto Central.

Comparando-se o mapa ora elaborado e o publicado por Scopel e Silva, (2001) pode-se constatar que a diferença entre eles localiza-se na porção Sul do Estado, pois para aqueles

autores a porção Sudoeste do estado de Goiás é caracterizada como de alta erodibilidade. No entanto, aí ocorre Latossolo Vermelho Ácrico, um solo caracterizado como típico, muito argiloso, em relevo plano, e portanto classificável como de baixa erodibilidade, fato desconsiderado pelos autores. Oliveira (2008) afirma que o caráter Ácrico se manifesta com maior frequência nos solos de textura argilosa, derivados de rochas básicas, e estão ligados à presença de materiais bastante intemperizados.

Na porção sudoeste também ocorrem algumas outras diferenças, pois, há muitos Cambissolos, que igualmente não foram contemplados, sendo que no presente mapa estes foram classificados como classe I- Muito alta erodibilidade. Por outro lado, um ponto em comum entre os dois mapas localiza-se ao extremo Sul, onde ocorre uma associação de Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, típico, textura média, em relevo plano a suave ondulado + Neossolo Quartzarênico órtico, típico, em relevo suave ondulado, cuja área foi classificada como I- de muito alta erodibilidade.

5.2.2. A suscetibilidade à erosão laminar e suas relações com relevo e solos

A suscetibilidade à erosão laminar corresponde às expectativas de perda de solo em área sem cobertura vegetal e sem interferência antrópica. Por ser uma forma de perda de solos, foi incluída nos índices que compõem a Equação Universal de Perda de Solos, em estudos regionais de erosão e servem para categorizar qualitativamente as áreas quanto à maior ou menor suscetibilidade à erosão laminar (SALOMÃO, 2015).

A erosão Laminar pode ser entendida como a remoção das camadas sedimentares e delgadas de solo sobre determinada área, causada pelo escoamento superficial da água. Este processo propicia um desgaste lento, que dificulta a percepção deste tipo de erosão. Quando os solos mais frágeis e susceptíveis são cultivados com culturas perenes, o indicador do processo é a exposição das raízes, que só pode ser percebido ao longo de anos e entendido como resultado da perda de solo (LEPSH, 2001; BERNTONI e LOMBARDI NETO, 2010; FAO, 2019).

A atuação da energia das águas pluviais em ambientes de declives pronunciados é maior, necessitando da cobertura vegetal para auxiliar no amortecimento das gotas de chuva, infiltração e escoamento superficial. Bertoni e Lombardi Neto (2010) afirmam que a intensidade da erosão provocada pela água é afetada tanto pelo comprimento do declive como pelo gradiente. O impacto de erosão laminar afeta em especial a camada superior do solo, provocando perda progressiva dessa camada. A matéria orgânica é altamente benéfica como

fonte de nutrientes para o crescimento das plantas, e como agente cimentante que possibilita a formação de agregados no solo, os quais são estáveis, o que, por sua vez, aumenta a porosidade, facilitando tanto a penetração das raízes no solo como a circulação de água (FAO, 2019).

Utilizando-se a erodibilidade e a declividade foi possível elaborar o mapa preliminar de suscetibilidade à erosão laminar para o estado de Goiás e Distrito Federal (Figura 33), segundo os critérios adotados na definição das classes de suscetibilidade à erosão laminar do IPT (1990), também adotadas por Salomão (2015). É possível observar na Figura 34 que as áreas da classe I- extremamente suscetível- ocorrem na porção Norte-Nordeste, Sudeste e uma faixa no Oeste do Estado, cobrindo aproximadamente 19,81% de sua área. Trata-se de ambientes com ocorrência de Cambissolos, relevos mais movimentados na forma de Morros e Colinas, e Zonas de Erosão Recuante. Ao Norte esses ambientes ainda possuem ampla área de remanescentes do Cerrado como cobertura vegetal.

As classes V, II e I juntas somam mais de 75% da área do Estado, correspondentes a pouco ou não suscetível + muito suscetível + extremamente suscetível. Contudo, apenas a classe V – pouco ou não suscetível cobre mais de 35% da área estadual.

A classe II - muito suscetível - corresponde a aproximadamente 22,58% do Estado, e ocorre em grande extensão na porção Sudoeste sobre os solos derivados dos arenitos, como os Neossolos Quartzarênicos e a Associação de Latossolo Vermelho distrófico, típico, textura média a arenosa + Neossolo Quartzarênico órtico, típico, ambientes esses considerados de muito alta erodibilidade, onde predomina a pastagem como principal uso e cobertura. O setor Sul da alta bacia do rio Araguaia, localizada do extremo Sudoeste, foi identificada com mais de 70% da área com classes que variam de moderadamente a extremamente suscetível à erosão laminar (OLIVEIRA, 2004).

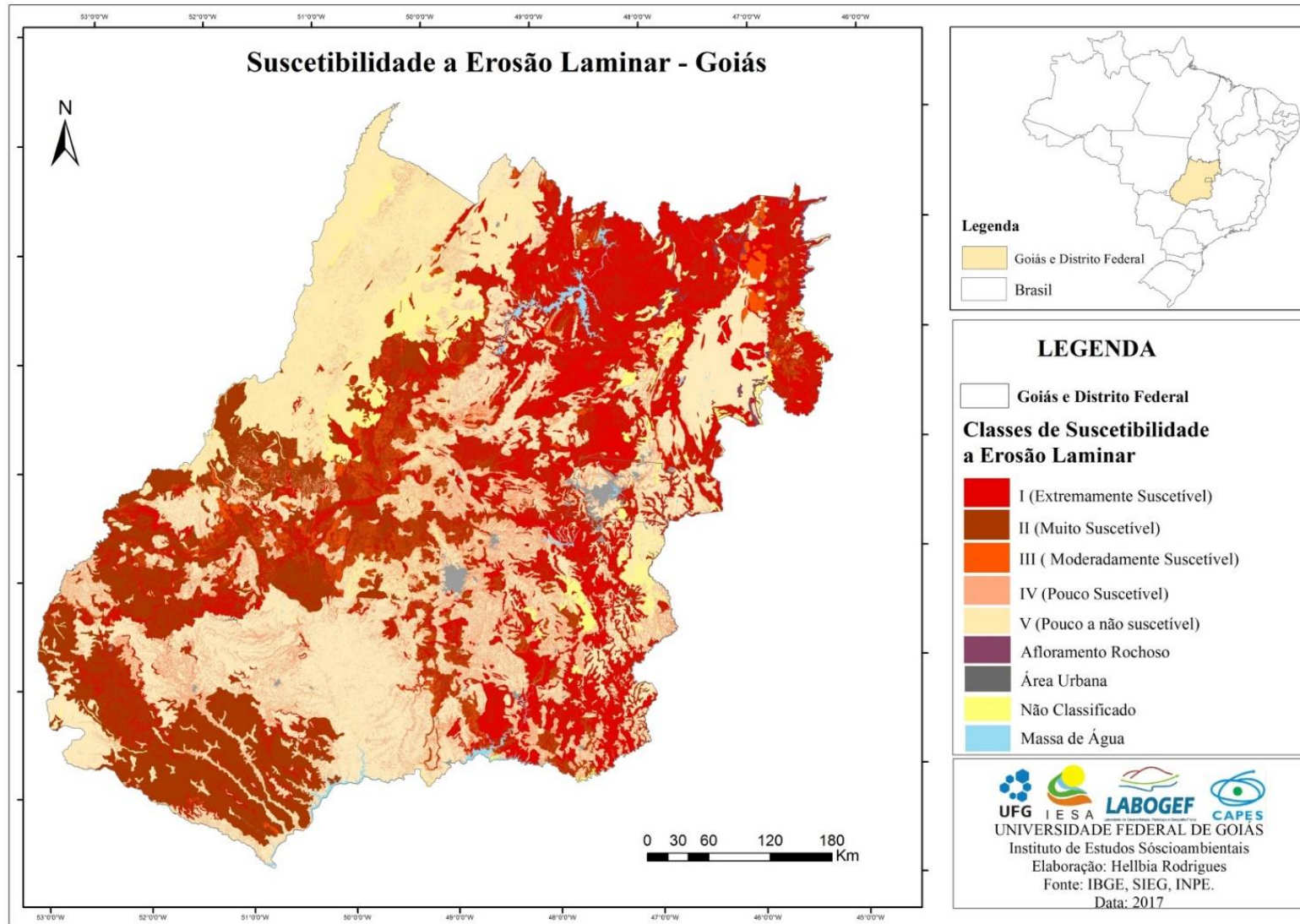


Figura 33: Mapa preliminar de suscetibilidade a erosão laminar do estado de Goiás e Distrito Federal.

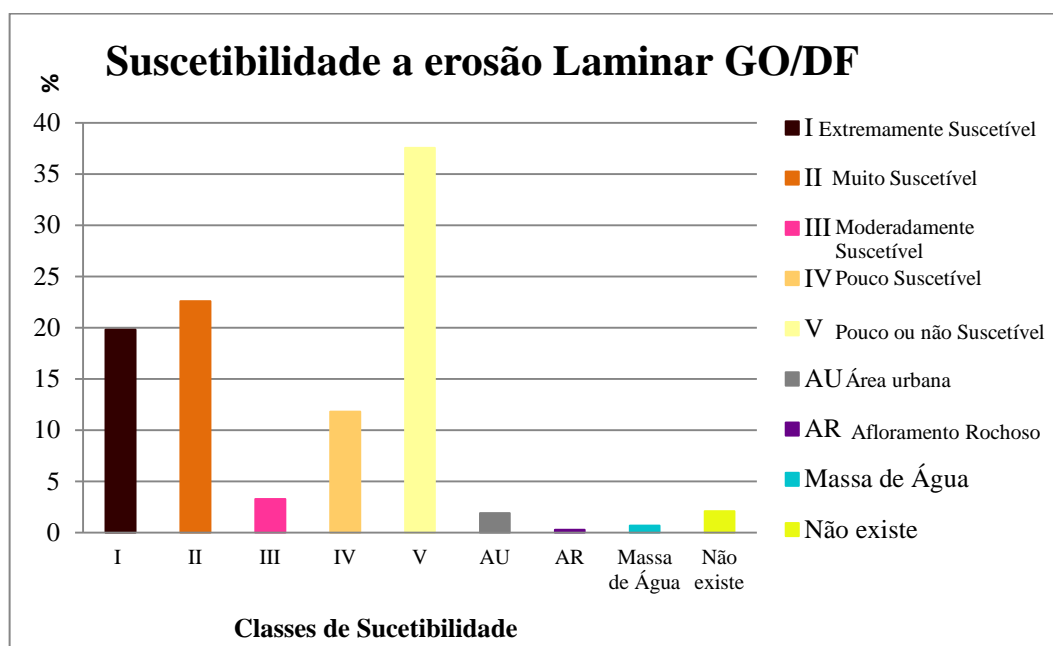


Figura 34. Gráfico de suscetibilidade a erosão laminar (GO).

A extensa faixa da classe II também ocorre na porção Oeste do Estado ocorre em um mosaico diversificado de litotipos, como diamictito, folhelho, arenito, siltito; depósito de areia; serpentinito, assim como também são diversificados os tipos de solos, como Argissolos Vermelhos, Cambissolos, Neossolos, Latossolos Vermelhos, Latossolos Vermelho Amarelos sobre Superfícies Regional de Aplainamento, Morros e Colinas e Zonas de Erosão Recuante. São terrenos que possuem problemas complexos de conservação, mas são parcialmente favoráveis à ocupação.

A classe III – moderadamente suscetível - corresponde à aproximadamente 3,28%, encontra-se fragmentada, podendo ser observada na porção Sudeste e Nordeste. Esse ambiente apresenta problemas complexos de conservação, sendo mais indicados para pastagens e culturas perenes.

A classe IV- pouco suscetível - corresponde à 11,79% e ocorre de forma bem fragmentada na porção Sudoeste, Sudeste, Centro, Leste, em Superfícies Regionais de Aplainamento, cobertas de Latossolos, considerados de baixa erodibilidade. No Estado de Goiás, essas áreas são destinadas à agricultura está de acordo com a classe.

A classe V – pouco a não suscetível- corresponde à 37,54%, a de maior extensão em todo o Estado, ocorrendo sobretudo na porção Centro-sul, em ambiente de basaltos, Superfícies Regionais de Aplainamento, cobertas predominantemente de Latossolos. Outra extensa faixa no Noroeste, onde ocorrem depósitos de argila, xistos e depósitos de areia, em Superfície Regional de Aplainamento, cobertas também com Latossolos Vermelho-Amarelo e Latossolos

Vermelhos, considerados de baixa erodibilidade. Trata-se de ambientes cujos terrenos não possuem problemas especiais de conservação.

É possível perceber que as áreas extremamente suscetíveis à erosão laminar da porção Norte são também as mesmas áreas de muito alta erodibilidade, apresentando relevos movimentados e ocorrência de Cambissolos. Assim como as áreas muito suscetíveis à erosão laminar do Sudoeste são as mesmas de alta erodibilidade, ambientes de ocorrência de Neossolos, cujos padrões fisiográficos são passíveis de serem levados em consideração no planejamento do uso ocupação dessas áreas para conservação dos solos.

É importante ressaltar que a erodibilidade dos solos e a declividade são fatores determinantes na definição das classes de suscetibilidade a erosão laminar (SALOMÃO, 2015) variáveis apontada como fundamentais, no entanto esse cruzamento matricial revela um dado preliminar como é exposto pelo IPT (1990). Um dado relevante para o entendimento da área diante essa fragilidade natural, porém para obter o dado final de suscetibilidade a erosão laminar, é necessário adicionar as variáveis de erosividade e comprimento das encostas. Assim como aponta Salomão (2015) os fatores de erosividade e comprimento das encostas devem ser utilizados em complemento à avaliação final das classes de suscetibilidade.

Macedo; Newton; Campagnoli, (2006), utilizaram a metodologia do IPT (1990) para avaliar a bacia hidrográfica do rio Indaiá no estado de Minas Gerais, em que afirmam que a operação matricial desses dois dados (Erodibilidade e Declividade) geram a suscetibilidade à erosão laminar. Do mesmo modo, Santos (2015) utiliza esse procedimento para a identificação da suscetibilidade à erosão laminar para as Áreas de Preservação Ambiental das Nascentes do Rio Vermelho, no estado de Goiás. Entretanto, esses autores não cumpriram todas as etapas metodológicas, assim o dado não corresponde na íntegra ao que se interpreta, já que é válido ressaltar que a variação dos parâmetros de condicionantes imprimirá maior ou menor suscetibilidade à erosão em uma área (DINÍZ, 2006).

Esse entendimento da metodologia utilizada e os estudos apontados são exemplos de trabalhos que vêm para justificar a necessidade de se desenvolver todas as etapas metodológicas, ponderando corretamente as variáveis envolvidas no que tange ao dado produzido no trabalho, no caso, o mapa preliminar de erosão laminar para todo o estado de Goiás e Distrito Federal, que foi realizado o esforço de seguir adequadamente o pressuposto metodológico. Assim, o dado preliminar de suscetibilidade à erosão laminar aqui produzido propicia um entendimento inicial das áreas frágeis, e possibilita maior atenção no mapeamento dos focos erosivos lineares, diante da identificação das áreas mais suscetíveis por suas características físicas.

5.2.3 Uso e cobertura das terras e sua relação com a ocorrência de focos erosivos

O mapeamento de focos erosivos lineares, realizado com imagens de 2016 trouxe consigo a necessidade de correlação com dados de uso do mesmo ano (2016), que foram compilados do mapeamento realizado pelo MapBiomas na escala de 1:150.000, para todo o estado de Goiás. Os dados de uso e cobertura das terras cruzados com os dados do mapa de focos erosivos, e para tanto o resultado possibilitou identificar quais classes de possuem maior número de ocorrência de focos erosivos como podem ser observados nas figuras 35 e 36.

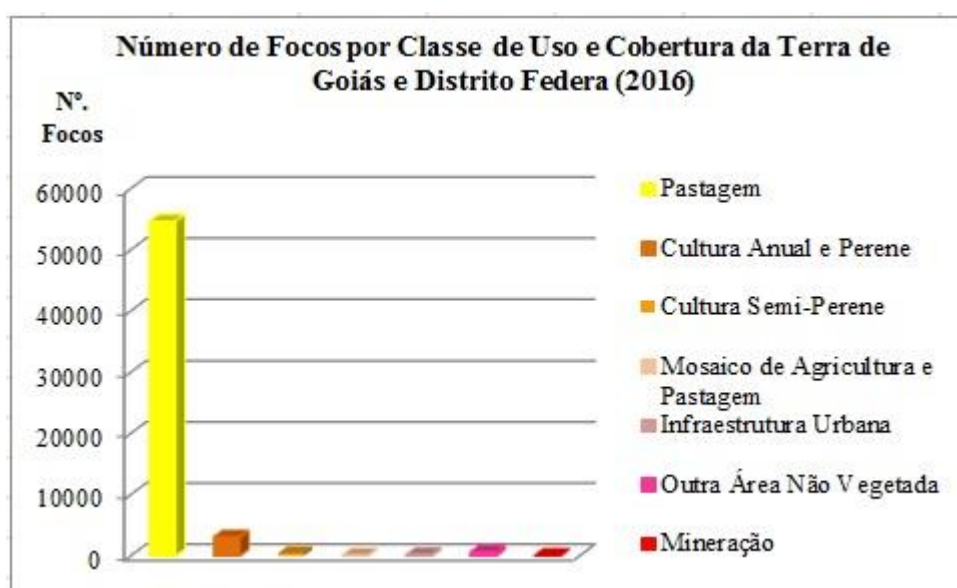


Figura 35. Gráfico de focos erosivos e classes de uso e cobertura das terras (GO/DF).

O estado de Goiás e Distrito Federal possuem duas classes que se destacam no quantitativo de focos, observando que em seu total o território mapeado possui 67.043 focos erosivos linear dos quais 54.643 ocorrem em área de pastagem correspondendo a um total de (81,49%) dos focos mapeados, as áreas de pastagem ocorrem em todo o território mapeando sobretudo no estado de Goiás, encontra-se de forma fragmentada, inter cruzada com áreas de agricultura, remanescentes, áreas urbanas. Em todo o mapeamento nas áreas de pastagem as erosões estavam associadas a trilhheiros, e próximas a canais de drenagem.

Para a classe de uso de cultura anual e perene ocorrem 3.072 focos erosivos linear totalizando (5,58%) dos focos mapeados. Assim, a erosão tem sido uma preocupação crescente diante dos impactos externos em escalas mais abrangentes do que as parcelas do cultivo onde ocorre a erosão (VALENTIN; POESEN; YONG, 2005). Visto que o uso das terras para cultivo ou manejo de animais se expande em uma demanda crescente mundial, sendo de forma acelerada pode comprometer os solos. A agropecuária, atividade econômica

que depende do recurso natural solo, quando realizada sem levar em consideração a aptidão agrícola, promove diversos impactos negativos, em especial o de erosão dos solos.

Sem embargo para as áreas de remanescentes de Cerrado, também foram mapeados focos erosivos, o remanescente que possui maior número de focos é a Formação Campestre com 4066 focos correspondendo há (6,06%) do total de focos mapeado (Figura, 36). A formação campestre que correspondem a áreas de vegetação de Cerrado onde predominam formas herbáceas, arbustivas, podendo haver ocorrência de árvores de pequeno porte, no entanto de forma isolada (RIBEIRO e WALTER, 2008). Faria (2006), aponta que áreas de formação campestre na ABA, foram transformadas em pastagens, denominadas de pastagens naturais, o que ampliou o nível de degradação dos fragmentos da área.

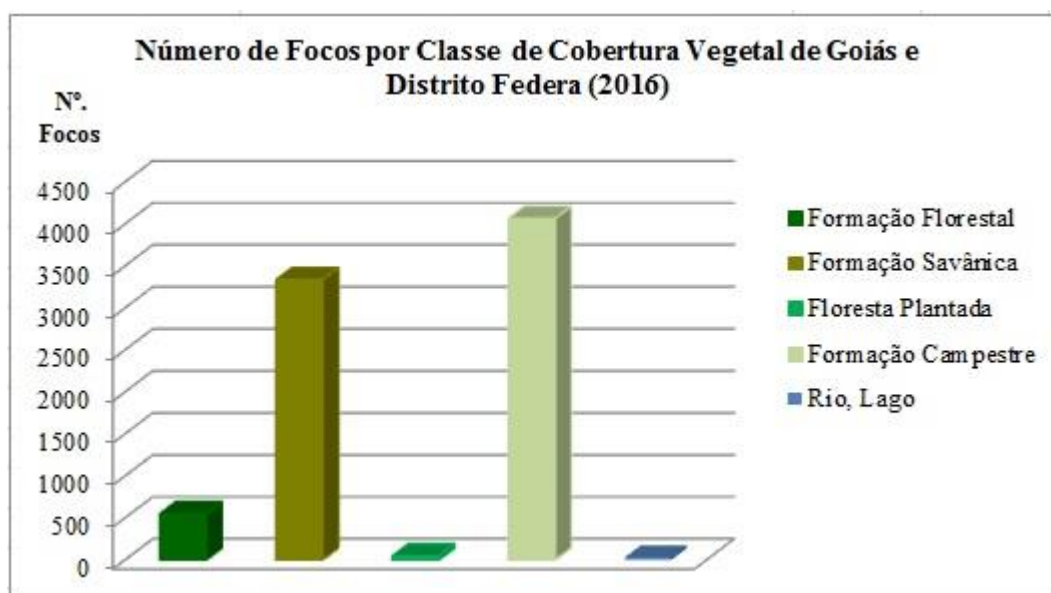


Figura 36. Gráfico de focos erosivos e classes de uso e cobertura das terras (GO/DF).

Para a classe de Formação Savânica há a ocorrência de 3338 focos erosivos no Estado, que corresponde há (4,97%) do total de focos erosivo mapeados. Esse tipo de formação de vegetação ocorre em ambientes de relevo movimentado, solos pouco profundos. A vegetação atua no ambiente com uma forma de auxiliar amortecendo o impacto das gotas de chuvas com o solo, assim como infiltração, no entanto a erosão também faz parte de um sistema de transformação das formas do relevo, quando ocorrem de forma natural o ambiente possui resiliência para ajustar as demais variáveis que o compõem.

5.3. Áreas Críticas: Identificação e Caracterização Geral

As áreas de maior densidade de focos erosivos foram denominadas Áreas Críticas (AC), por apresentarem a maior concentração de focos erosivos do estado de Goiás e Distrito Federal, as quais espacialmente configuram polígonos bem definidos. Elas ajudam a identificar a assinatura de condicionantes quando correlacionadas espacialmente com outros mapas temáticos, auxiliando na identificação das prováveis causas do fenômeno. Por isso necessitam de uma avaliação em escala mais detalhada.

Neste trabalho as AC foram identificadas e exportadas como áreas específicas e receberam um número para identificação do sentido sul para o norte, apenas identificá-las. Em seguida foi elaborada uma tabela de classificação com base na densidade calculada para cada AC, atribuindo-se assim o cálculo do nível de criticidade, como pode-se observar na figura 37.

Observando-se novamente a Figura 28, as áreas de alta densidade que correspondem a uma maior ocorrência de focos erosivos lineares, encontram-se no intervalo entre $0,28 \leq$ $1,59$ focos/km². Assim, de posse dos dados de densidade de focos devidamente tabulados para todas as AC foi possível classificá-las quanto ao grau de criticidade, tendo sido agrupadas em três classes de acordo com o conjunto de dados quantitativos, a saber: Área Muito Crítica, Área Crítica e Moderadamente Crítica.

Convém esclarecer que as AC como um todo apresentaram uma grande variação de sua dimensão espacial, havendo AC cujo polígono representa 26,27 km² até AC com 12889,04 km². Por essa razão, a classificação de criticidade de uma AC, de muito crítica à moderadamente crítica, levou em consideração a densidade de focos.

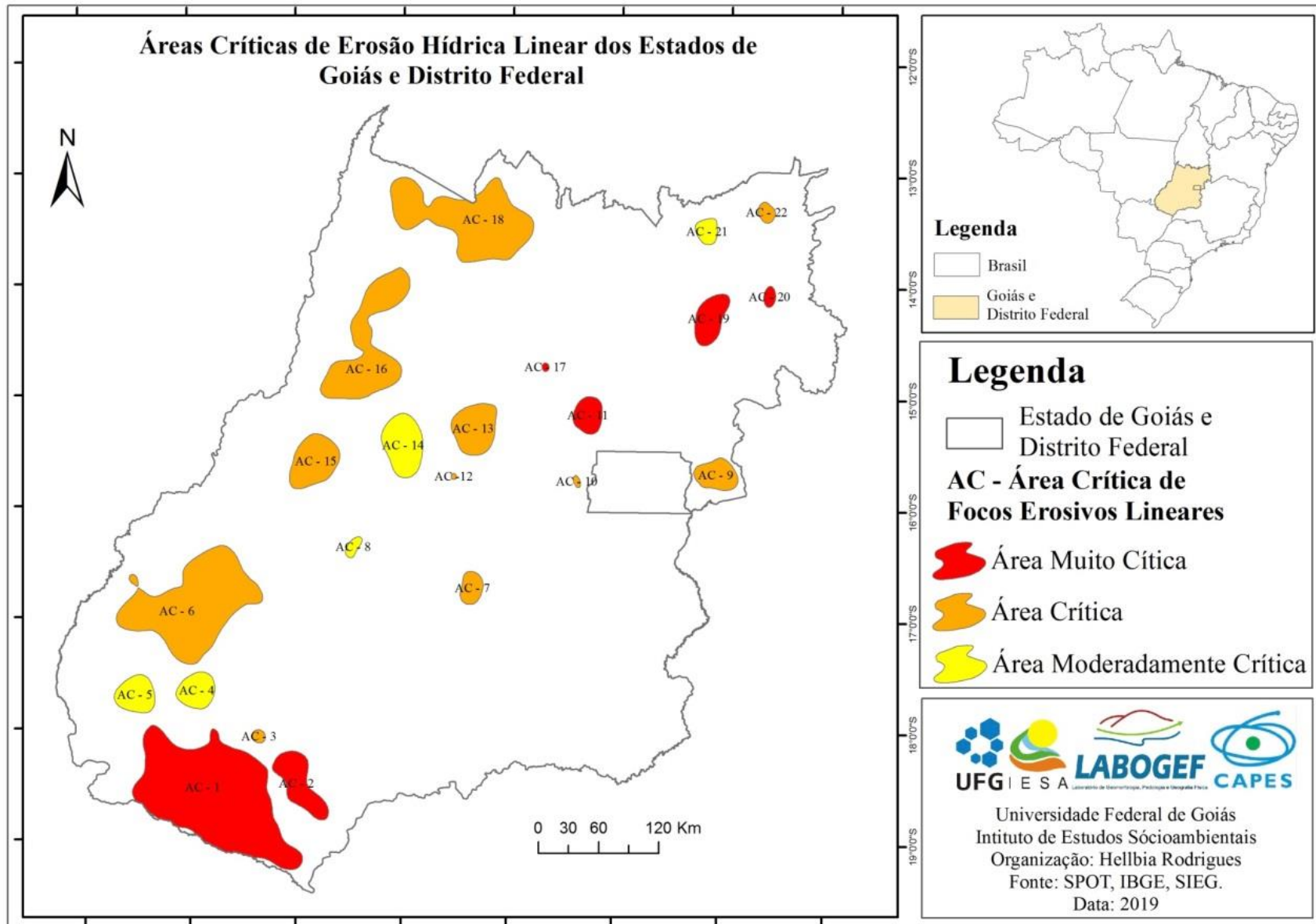


Figura 37. Áreas Críticas de Focos Erosivos Lineares do estado de Goiás e Distrito Federal.

As áreas classificadas como Área Muito Crítica (AMC) (Figura 38), localizam-se no extremo Sudoeste e Centro-norte e Nordeste no estado de Goiás. Apresentam uma densidade de focos que varia de 0,39 a 0,49/km², variação essa que representa seis AMC (Figura 38). E apesar da AMC 1 da figura 29 apresentar área e número de focos elevado não é a de maior densidade dentre as seis AMC. A AMC com maior densidade de focos localiza-se na porção Centro-norte do Estado, identificada como AMC 17, a qual das seis AMC é a que possui a menor dimensão espacial (48,52 km²), mas concentra 28 focos.

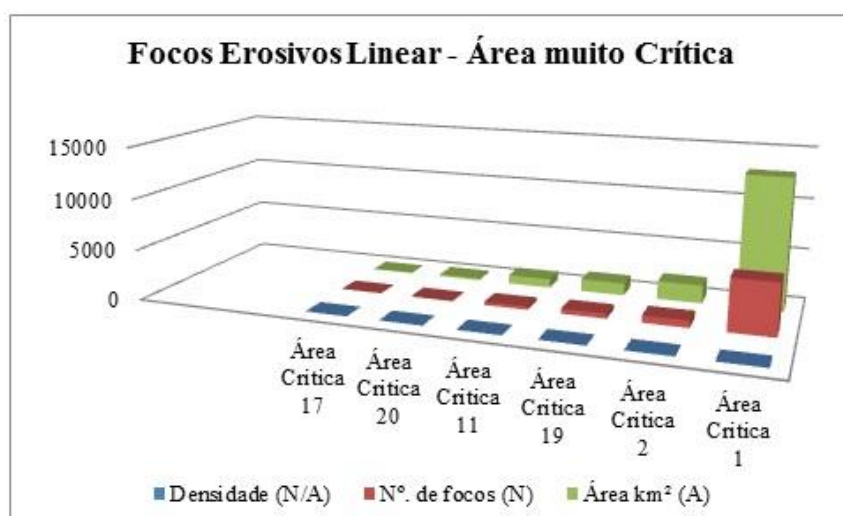


Figura 38. Gráfico do número de focos erosivos das Áreas Muito Críticas.

As características que marcam essas seis AMC, além da densidade, são as suas dimensões, pois a AMC 1, polígono de maior dimensão espacial abrange 12.889,04 km², localizado no Sudoeste, concentra 5.073 focos, diferentemente do que acontece nas porções Centro-norte e Nordeste, que apresentaram AMC 17, 19 e 20 com dimensões espaciais pequenas, no entanto com maior concentração de focos.

Para as áreas classificadas como Área Crítica (AC) (Figura 39), são 10 AC, cuja densidade variou de 0,36 à 0,30 focos/km². Essas 10 AC estão dispersas em todo o território do Estado, no entanto, as de maior dimensão espacial estão concentradas na porção Oeste. É a única classe que possui um foco em área totalmente urbanizada, a AC 17, a qual corresponde à Região Metropolitana de Goiânia.

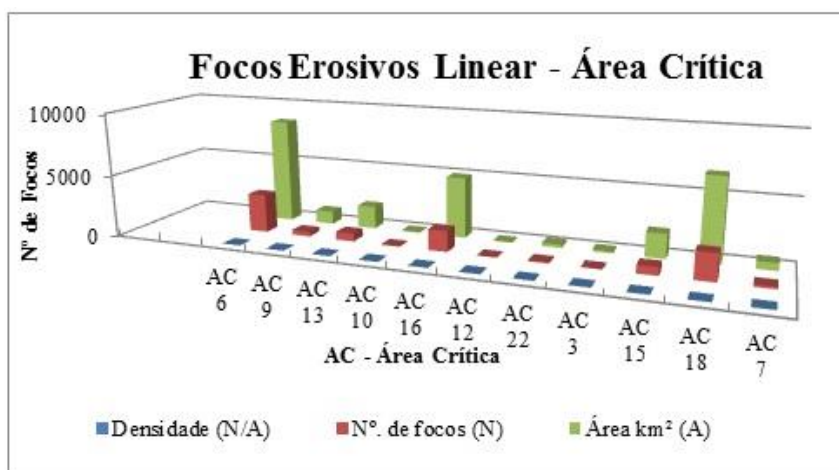


Figura 39. Gráfico do número de focos erosivos lineares das Áreas Críticas.

As áreas classificadas como Áreas Moderadamente Críticas (AMDC), correspondem a cinco áreas localizadas na porção sul, Centro e Nordeste do estado de Goiás, com densidade que varia de 0,29 à 0,26 focos/km²(Figura 40).

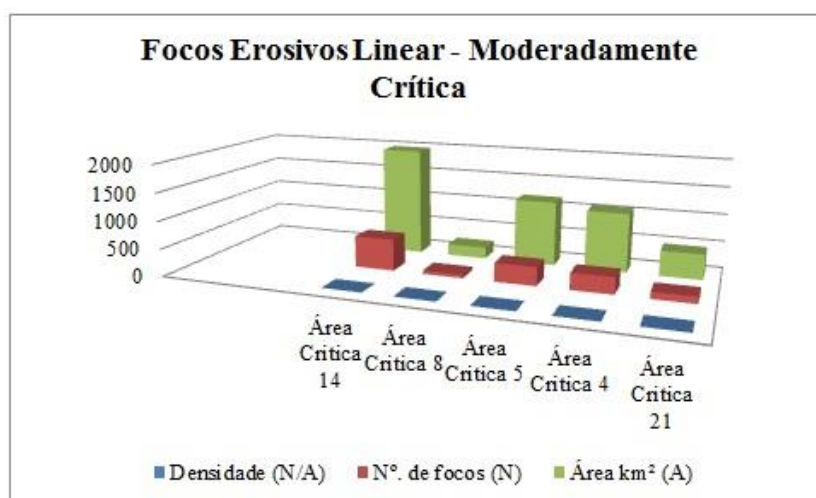


Figura 40. Gráfico do número de focos erosivos das Áreas Moderadamente Críticas.

Os mapas de focos erosivos hídricos lineares e o de densidade de focos/km², tornam-se importantes por possibilitarem a identificação das áreas de maior impacto erosivo linear do estado de Goiás e Distrito Federal. Isto porque, corroborando a afirmação de Kertzmann et al., (1995), o impacto no meio físico causado por ravinas e voçorocas de médio e grande porte, pode ser considerado o maior em obras e recursos hídricos.

Contudo, pode-se afirmar que as áreas de maior erosividade, erodibilidade, declividade e as áreas de densidade de focos erosivos lineares não eliminaram a necessidade

da elaboração da suscetibilidade à erosão hídrica linear para todo o território, dada a diversidade físico-ambiental das variáveis estudadas até o momento.

O mapeamento dos focos é um dado fundamental mesmo que não haja na dissociação entre ravinas e voçorocas, e que nesse momento juntamente a dados físico-naturais de (erosividade, erodibilidade, declividade), variáveis essas que representam clima, solos e geomorfologia e densidade de focos erosivos lineares, conjugam-se como variáveis para se chegar e entender ao mapa de suscetibilidade à erosão linear.

5.4. Suscetibilidade a Erosão Hídrica Linear

O estado de Goiás possui sua área voltada basicamente à agropecuária, exceto o Sul Goiano em que a agricultura se destaca, e obter o dado de suscetibilidade à erosão hídrica linear pode instrumentalizar o poder público assim como as entidades privadas par as políticas de manejo e de planejamento ambiental intervencionista.

A figura 41 apresenta a espacialização da suscetibilidade à erosão hídrica linear do estado de Goiás. Nesse mapa as áreas classificadas como I - Extremamente suscetíveis à erosão hídrica linear correspondem à aproximadamente 13995 km² (4,09%), localizando-se na porção Sudoeste, na Mesorregião Sul Goiano e na porção Sul da Mesorregião Norte Goiano. Das quatro variáveis adotadas para o mapeamento, na classificação três se apresentaram preponderantes: a erodibilidade, a densidade de focos e a erosividade.

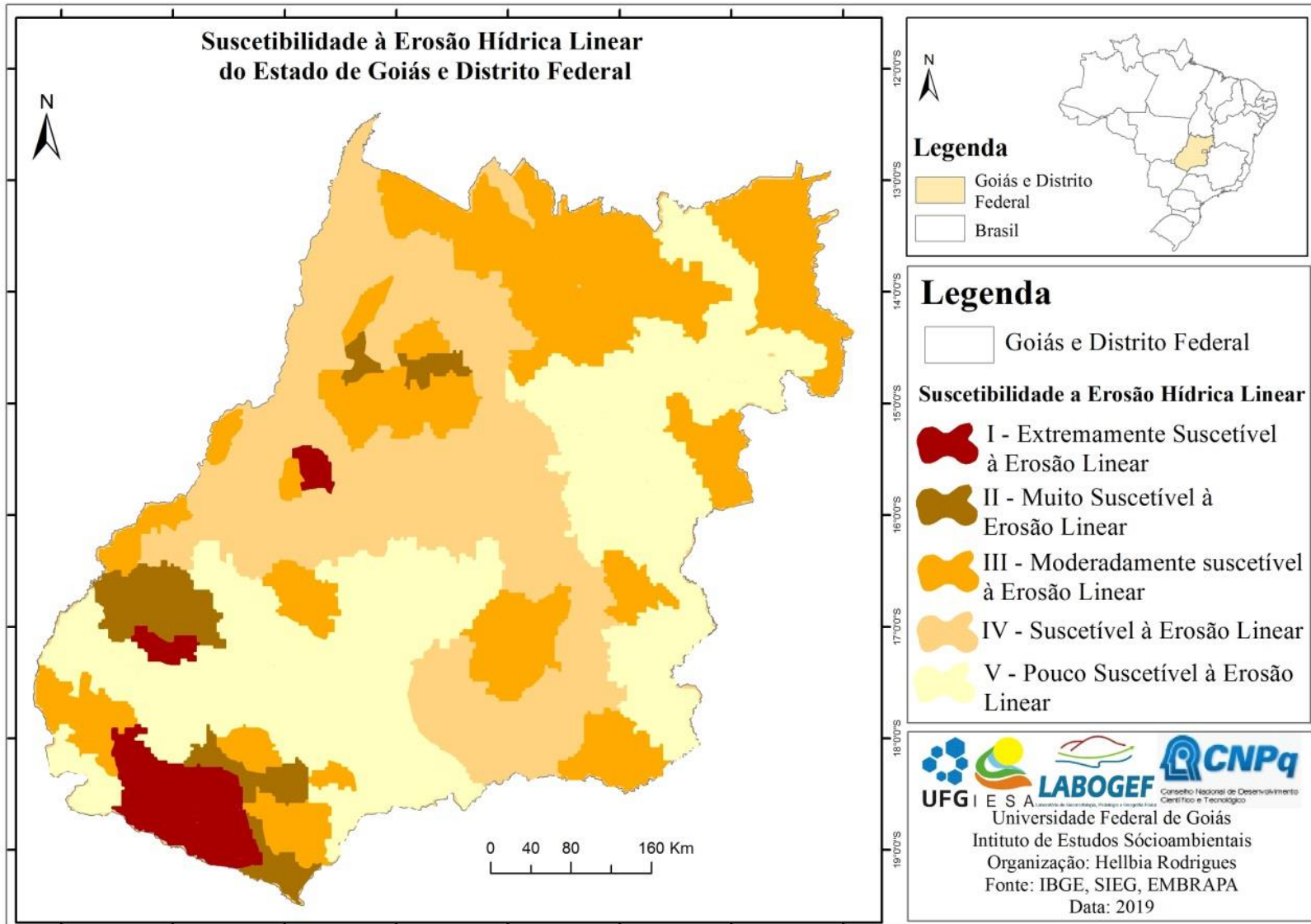


Figura 41. Suscetibilidade a Erosão Hídrica Linear do estado de Goiás e Distrito Federal.

Na figura 41, as áreas extremamente suscetíveis se subdividem em três. A de maior extensão localiza-se no extremo Sudoeste, possui alta densidade de focos erosivos que varia de 0,28 à > que 1,59 focos/km², por isso classificada como muito crítica. As duas outras áreas são menores, mas também extremamente suscetíveis à erosão hídrica e possuem uma densidade de focos que varia de 0,28 à 0,78 focos/km² sendo consideradas áreas críticas.

Nos aspectos físicos os litotípos predominantes nas áreas são os arenitos que compõem o grupo Bauru (Cretáceo) e São Bento (Triássico), da bacia Sedimentar do Paraná, ambientes importantes de recarga dos aquíferos. Machado (2017) lembra que os arenitos são areia litificada composta principalmente pelo quartzo, podendo conter feldspatos e fragmentos de rochas, e que ações de intemperismo podem destruir os minerais de maior instabilidade e os mais estáveis quimicamente são enriquecidos, como o quartzo.

São áreas classificadas como de muito alta a alta erodibilidade, caracterizadas por ambientes com ocorrência de um mosaico de solos em associação, sendo Latossolos Vermelho distróficos típicos, textura média, álico + Neossolos Quartzarênicos órticos, latossólicos e típicos, álicos; assim como ocorrem também a associação de Latossolos Vermelhos distróficos típicos + Cambissolos distróficos petroplínticos, e ainda Neossolos Quartzarênicos. São solos considerados suscetíveis quanto seus componentes físicos estruturais, segundo Salomão (2015).

O relevo dessas áreas apresentou declividades que variaram de 0 a 12 %, na SRA III, com apenas alguns trechos de SRAII e da ZER. Trata-se de um ambiente de relevo pouco movimentado, no entanto, possui uma densa rede de drenagem, correspondente à bacia hidrográfica do Rio Paraná, fator de fragilidade quanto ao disciplinamento das águas. Santana et al., (2007) ao realizarem o mapa dos focos erosivos da ABA, identificaram que boa parte das erosões estão associadas à rede de drenagem, principalmente às suas cabeceiras e/ou perpendicularmente aos canais, e essa é uma informação que vem de encontro com os resultados do mapeamento aqui realizado.

A declividade dessas áreas, mesmo de padrão plano a suave ondulado, apresenta também rampas longas, que observados nos dados gerados da intersecção de planos de informação, assim como em campo na voçoroca Chitolina (a mais famosa de Mineiros e do referido setor Sul), permitem afirmar que há correlação entre os focos erosivos e a concentração de fluxos em função de rampas longas e desmatamento, aliados ao uso inadequado, fatores que já foram observados por Marinho et al., (2006) para esse mesmo setor sul e por Barbalho e Castro (2013) para a bacia do rio Claro e dos Bois a leste da alta bacia do rio Araguaia.

Quanto à erosividade, o mapeamento de Goiás feito por Galdino (2015) aponta uma variação de $7.779 - 8.290 \text{ MJ mm há}^{-1} \text{ h}^{-1}$, considerada suscetível a chuvas erosivas, porém não há epicentros de chuva. Santana et al., (2007) ao elaborar a erosividade da alta bacia do rio Araguaia área onde se localiza uma das áreas consideradas extremamente suscetíveis à erosão hídrica linear, identificaram que as áreas com índices acima de $8000 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, associadas à expansão do uso do solo e as classes de solos com forte erodibilidade resultaram em área com concentração de focos.

Quanto ao uso ocupação, os dados do MapBioma (2016) apontam que a principal atividade destinada às terras é a pastagem, com algumas áreas voltadas a agricultura. A criação de gado é extensiva, com grande ocorrência de trilheiros associados a ravinas em canais de drenagem, certamente causadas pela busca de água pelos animais.

Em mapeamento da dinâmica do uso das terras para todo o sudoeste goiano Trindade et al., (2015) expõem que a vegetação natural em 1985 já encontrava-se fragmentada, onde a pastagem correspondia a principal atividade de uso ocupação da área e evoluiu mesmo tendo solos frágeis, mas havia uma declividade plana a suave o que facilita a ocupação para os anos subsequentes, 1995, 2005, 2010 e 2013 já possuindo áreas destinadas ao cultivo de cana de açúcar, resultado da expansão recente que houve da monocultura na mesorregião Sul Goiano. A remoção da cobertura vegetal pode aumentar a probabilidade de erosão via fluxo terrestre, pois a mudança resultar de mais chuvas atingindo a superfície do solo, menos sendo interceptada pela vegetação o que diminui a infiltração (MORGAN, 2005).

A classe de extrema suscetibilidade à erosão linear corresponde a ambientes com as áreas de maior criticidade, possuindo solos frágeis, elevado número de focos erosivos e elevada ocorrência de chuvas erosivas, características físicas que associadas ao uso intensivo das terras com pastagem, necessitam de atenção e intervenção quanto ao uso e manejo dessas terras, principalmente as que vem sendo submetidas a uso intensivo desde os anos 1985, segundo mapeamento de Trindade (2015). Para as demais classes de suscetibilidade à erosão hídrica linear é possível observar como se dispõem no território pelo dado da figura 42, a seguir.

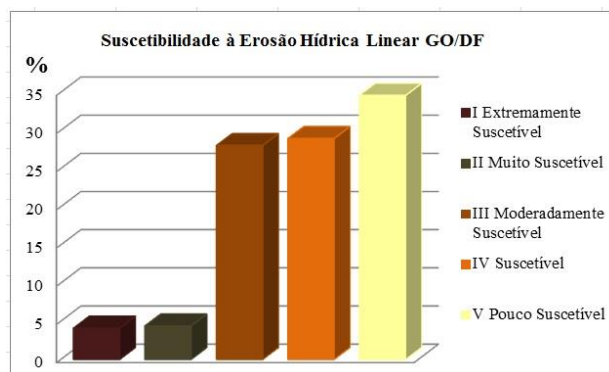


Figura 42. Gráfico de suscetibilidade à erosão hídrica linear GO/DF.

As áreas classificadas como II Muito suscetível corresponde á aproximadamente 14986 km² (4,38%) em relação à área total mapeada. Para essa classe há quatro fragmentos localizados na porção sudoeste e noroeste do estado de Goiás, o que permitiu observar para essa classe um padrão de duas variáveis de peso preponderante, e que mostram-se diferentes quanto a região de ocorrência.

O que predomina como variável de peso são áreas de muito alta erodibilidade, nos fragmentos da porção sudoeste associada à área de densidade de focos erosivos que variam de 0,28 à 0,78 focos erosivos por km². Este fragmento localiza-se nos municípios de Doverlândia e Caiapônia, ambientes inseridos na ABA, os quais também fizeram parte do em mapeamento de focos erosivos em 2003 realizado para toda a área, onde foi observada uma concentração preferencial em áreas de nascentes dos rios e em áreas de erodibilidade forte, nas quais os focos erosivos mapeados se encontravam com algum tipo de uso, mais comumente agricultura e pecuária (SANTANA et al., 2007).

Na porção noroeste os fragmentos apresentam variáveis de maior peso na erosividade com índices de chuva que variaram de 8760 à 10744 $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$, associados a áreas de densidades de focos erosivos que variaram de 0,28 à 0,38 focos / km². No que tange à região Noroeste ainda são escassos os estudos voltados para à questão físico-ambiental, no entanto foram identificadas extensas áreas de pastagens ao realizar o mapeamento dos focos erosivos lineares na área, associados a trilheiros de gado. Sobre o uso ocupação da área dados de Coelho e Souza (2016) ao realizarem uma análise estatística espacial dos dados de bovinocultura para o estado de Goiás, apontam que ao Noroeste, especificamente a microrregião de São Miguel do Araguaia se destaca quanto ao rebanho bovino e extensas áreas de pastagens. Atividade essa amplamente correlacionada à erosão, diante o manejo inadequado.

Para as áreas classificadas como III Moderadamente suscetível que correspondem a aproximadamente 95.959 km², ou seja a 28,02% em relação à área total mapeada, subdivide-se em 17 fragmentos, dos quais dois se destacam pela dimensão espacial, localizados ao norte, os demais 15 fragmentos, de menor dimensão espacial, estão dispersos pelo Estado, localizados na porção sudoeste, noroeste, e leste.

Diante a matriz de dados, a ponderação das variáveis para tomada de decisão tornou possível identificar que para essa classe há uma variável de peso preponderante, uma de peso moderado e duas de peso baixo. Salientando que dada à diversidade físico-ambiental do território foi avaliado cada polígono segundo os dados apresentados e a matriz de correlação. Em uma análise mais ampla, a variável preponderante é erosividade para fragmentos da porção noroeste e sudeste do estado de Goiás, enquanto que os demais fragmentos apresentam a erodibilidade como a variável preponderante.

Ao observar a espacialização dos dados da classe Moderadamente suscetível os fragmentos de maior extensão localizam-se na porção norte e nordeste do estado de Goiás. O fragmento da porção nordeste possui áreas de muito alta erodibilidade, com moderada declividade, em ambientes de ocorrência de SRA IV cujos declives variam de 0 - 6% em intersecção há ZER com variação de 0 – 20%, ambiente considerado suscetível à erosão, predomínio de baixa densidade de focos, com ressalva para pequenos epicentros de densidade de focos, e índices de erosividade baixo, com que variação de 6882 – 7790 $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$.

O fragmento de maior extensão localizado na mesorregião Norte Goiano, apresenta variáveis para a porção norte-noroeste diferente da porção centro-norte desse mesmo fragmento. Ao norte-noroeste é possível observar a erosividade como variável preponderante de índices que variam de 7790 – 10744 $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$, moderada densidade de focos que variam de 0,18 – 038 focos por km², baixa erodibilidade e declividade. E na porção centro-norte do fragmento apresenta uma área classificada em, muito alta erodibilidade associadas à moderada declividade apresentando um relevo diversificado em seus aspectos geomorfológico, onde há SRAIV, SRAIII, ambientes de Estruturais, fragmentos de Morros e Colinas, com declividade que varia de 0 à > 45%, associada a áreas de baixa erosividade e baixo número de focos.

A porção do extremo norte goiano é conhecida como uma área de difícil manejo e tecnificação agrícolas, devido a declividade movimentada e à presença de ambiente que ainda possui ampla área de remanescentes de Cerrado, cujo uso ocupação dos solos é de pastagem. Em análise da mesorregião Norte para 2001 e 2002, foi identificado que 57% de suas áreas cobertas por vegetação nativa (FERREIRA; FERREIRA; LOBO, 2007), assim como os dados

do MapBiomias (2016), apresentam a mesorregião Norte uma área de ampla de remanescentes de Cerrado, se comparada às demais regiões do estado de Goiás.

Quanto às áreas classificadas como IV - Suscetível à erosão hídrica linear, elas correspondem a aproximadamente 118.248 km² (34,57%), de área em relação ao território. Essa classe está espacializada de forma ampla e pouco fragmentada, predominando nas porções noroeste, sudeste e nordeste. Diante da ponderação das variáveis, essa classe se apresenta com um padrão de apenas uma classe de peso moderado e as três demais variáveis de peso baixo, relativos à suscetibilidade a erosão hídrica linear. A erosividade é a variável de peso moderado, com índices de variação para área de $7790 - 10744 MJ mm ha^{-1} h^{-1}$, com declividade, erodibilidade e densidade de focos apresentando peso baixo.

As áreas classificadas como V - Pouco suscetível à erosão hídrica linear, correspondem a aproximadamente 118.248 km² (34,57%), de área em relação ao território. Diante da análise das variáveis apresenta seus quatro pesos baixos, relativos à suscetibilidade à erosão hídrica linear. Essa classe localiza-se na porção leste da área mapeada, e a porção centro e sudoeste da mesorregião Sul Goiano são áreas que apresentam baixos índices de erosividade, erodibilidade, declividade e até mesmo densidade de focos. No entanto, não significa que não possa ocorrer erosão, visto que as variáveis que foram adotadas para classificação foram físicas e não envolveram o uso ocupação. Porém, mesmo que no decorrer da análise tenha sido correlacionado ao uso, não se pode desprezar a possibilidade de ocorrência de focos erosivos associados ao uso, todavia é pouco suscetível em seus aspectos físico-ambientais.

Na espacialização dos dados processados da matriz e a interpretação das variáveis segundo as ponderações, foi possível identificar as áreas de maior suscetibilidade. É importante atenção a essas áreas, no entanto em muitos casos ambiente que apresentaram moderada suscetibilidade a erosão hídrica linear, teve pequenos epicentros de focos erosivos sendo fundamental avaliar correlacionando ao uso destinado a essas áreas. Outro ponto importante são áreas de moderada suscetibilidade com baixa ocorrência de focos erosivos como ocorre no sudeste e norte, necessitando assim sempre atentar-se ao manejo dos solos, respeitando as variáveis suscetíveis aos processos erosivos dessas áreas para não se tornarem áreas impactadas por processos erosivos.

Os valores do uso das terras do provenientes do MapBiomias (2016) cruzados com os focos erosivos uso para todo o estado de Goiás e Distrito Federal (figura 43), possibilitam identificar quais classes de cobertura das terras ocorrem nas áreas de maior suscetibilidade a erosão hídrica linear.

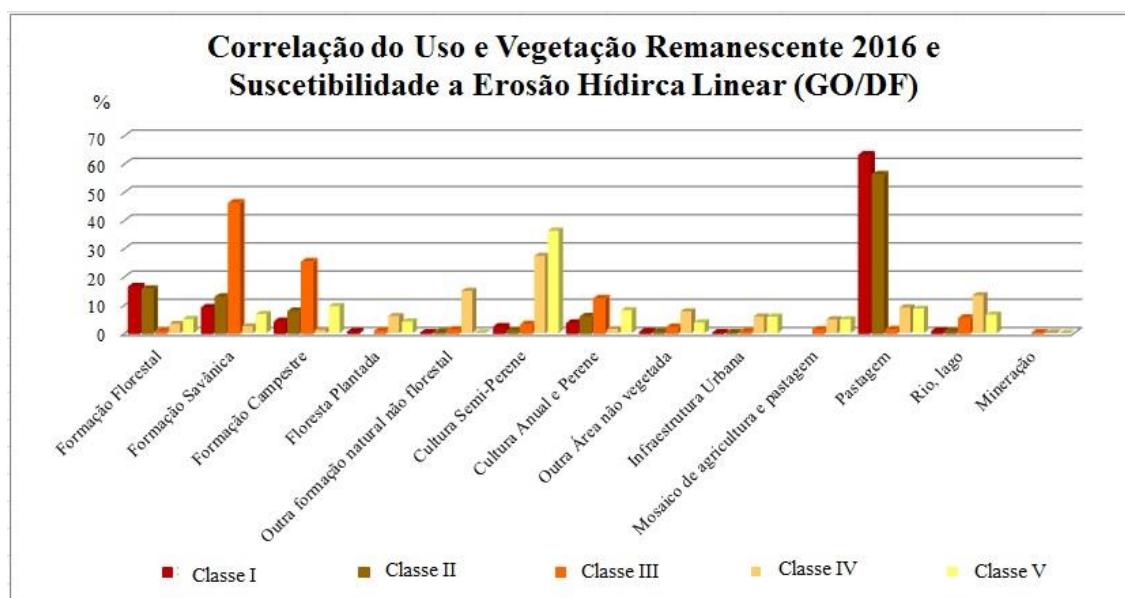


Figura 43. Gráfico de Correlação do Uso e Vegetação Remanescente 2016 e Suscetibilidade a Erosão Hídrica Linear (GO/DF). **Legenda:***Classes de Suscetibilidade a Erosão Hídrica Linear- Classe I- Extremamente Suscetível; Classe II-Muito Suscetível; Classe III-Moderadamente Suscetível; Classe IV Suscetível; Classe V Pouco Suscetível.

Os dados apontam a pastagem como a classe de uso como de maior suscetibilidade hídrica linear. A Classe I - Extremamente Suscetível, corresponde a 63,14% da área total da classe e a Classe II - Muito Suscetível, corresponde a 56,15%, ocorrendo também em menor percentagem nas classes de menor suscetibilidade. Isso sugere a necessidade de considerar o manejo adequado por predominarem o uso em ambientes de alta suscetibilidade.

Em seguida a classe de uso da cultura semi-perene se destaca em algumas classes de suscetibilidade como na Classe V – Pouco Suscetível, com 36,29% e na Classe IV - Suscetível com 27,38%, ocorrendo em menor percentagem nas demais classes suscetibilidade. A cultura anual e perene ocorre em todas as classes, no entanto, a que mais se destaca é a na classe III - Moderadamente Suscetível, com 12,2% da área total da classe.

Quanto à vegetação remanescente de Cerrado, é possível identificar que a Formação Savânica se destaca na Classe III – Moderadamente Suscetível, correspondendo a 46,13% da área total da classe, ocorrendo nas demais classes de suscetibilidade, no entanto, em menor percentagem. A Formação Campestre também se destaca na Classe III- Moderadamente Suscetível, com 25,29% ocorrendo nas demais classes de suscetibilidade, entretanto em menor percentagem. É possível observar que a classe nas quais os remanescentes de Formação Savânica e Formação Campestre se destacam ocorrem em áreas fragmentadas em todo o estado de Goiás, em especial na porção Norte, que corresponde as áreas de maior domínio de vegetação remanescente de Cerrado.

Em síntese, a espacialização do estudo da erodibilidade dos solos, da suscetibilidade à erosão laminar, o mapa de focos erosivos lineares, associados a dados já existentes de Erosividade, colocaram em evidência as áreas de maior fragilidade ao impacto de erosão hídrica linear no estado de Goiás e Distrito Federal. Nestas foi possível observar regiões e suas áreas quanto às suscetibilidades de cada área, e obter a espacialização da suscetibilidade a erosão hídrica linear.

Regionalmente, as suscetibilidades foram expostas no nível de maior a menor intensidade, assim como a ocorrência de focos erosivos com o uso das densidades. E analisando como um todo, se destacaram as regiões do sudoeste, centro e noroeste do estado de Goiás, como áreas que apresentaram os maiores índices de suscetibilidade. O sudeste chama a atenção por apresentar áreas de suscetibilidade a erodibilidade, erosividade, erosão laminar, no entanto não apresenta áreas de alta densidade de focos.

As áreas de densidade classificadas quanto ao índice apresentaram evidências quanto à ocorrência das classes muito crítica em regiões distintas, quanto seus aspectos físicos, localizadas no extremo Sul e Centro-Norte.

A suscetibilidade à erosão hídrica linear elaborada com base nas variáveis físicas, a saber o clima (erosividade), solos (erodibilidade), relevo (declividade) e correlacionada à densidade de focos erosivos lineares, apresentou áreas com índices elevados, especialmente no Sudoeste, o que confirma os dados já apontados nos mapas anteriores, por ser uma área de variáveis intrínsecas a suscetibilidade erosiva, corroboradas pelo mapa de focos.

O mapeamento também trouxe dados importantes para áreas classificadas como moderadamente suscetíveis à erosão hídrica linear, em que não há densidade de focos erosivos como variável estruturante. Essas áreas ocorrem no Sudeste, área de amplo uso agropecuário, e no extremo Norte em ambientes que correspondem a áreas com maior índice de remanescentes do estado de Goiás.

A correlação ao uso ocupação das terras deixa evidente que a atividade de pastagem ocorre em grande percentual nas áreas de maior suscetibilidade o coloca em evidência a necessidade de manejo adequado, por se constituírem áreas de maior fragilidade.

Os dados de suscetibilidade à erosão hídrica linear evidenciam também a necessidade de plano adequando de manejo dessas áreas, assim como de monitoramento, por possuírem propensão à ocorrência de processos erosivos.

Ao se considerar as áreas de densidade de focos classificadas quanto a criticidade é possível afirmar que são ambientes distintos segundo a região de ocorrência. As AMC identificadas ocorrem em ambientes de extrema suscetibilidade à erosão hídrica linear no

Sudoeste, já na porção Centro-Norte ocorre em ambientes pouco suscetíveis à erosão hídrica linear, e ao Nordeste, em ambientes moderadamente suscetíveis à erosão hídrica linear.

Assim, torna-se necessário um estudo detalhado da morfopedologia desses ambientes das AC, assim como do seu uso e ocupação, variável importante para identificar se há padrões que permitam estabelecer um modelo que apresente as variáveis explicativas do impacto erosivo hídrico no Estado.

CAPÍTULO 6

DISTRIBUIÇÃO DE FOCOS EROSIVOS E CONDICIONANTES DA EROSÃO HÍDRICA DAS ÁREAS CRÍTICAS

O estudo aqui realizado partiu da escala estadual, que permitiu a identificação das áreas críticas, assim identificadas por apresentarem as maiores densidades de focos erosivos nessa escala, constituindo “clusters”. O mapa das áreas críticas foi muito importante para a compreensão das suscetibilidades erosivas para identificar as áreas mais críticas, ou seja, as que concentravam o maior número de focos no Estado. Áreas as quais foram selecionadas para identificar os ambientes de cada uma diante dados refinados, no que se referem às variáveis do meio físico como geologia, geomorfologia, solos, seus respectivos atributos e compartimentação morfopedológica como unidades de paisagem de cada área crítica, assim como seu cruzamento com os focos erosivos mapeados, de modo a correlacionar também com o uso ocupação, com destaque para a fragmentação da cobertura vegetal.

Dessa forma foi possível avaliar os principais condicionantes de processos erosivos do estado de Goiás e Distrito Federal, objeto desta tese, tornando-os indicadores. Assim, foram selecionadas as denominadas Áreas Muito Críticas (AMC), as quais concentram o maior número de focos erosivos hídricos lineares do Estado, visando compreender os indicadores desse processo.

Este capítulo apresenta o estudo dos condicionantes e indicadores da erosão hídrica linear de AMC que se destacaram quanto à maior densidade de focos do Estado. O estudo baseou-se nos condicionantes conhecidos na literatura sobre o tema, e espacializou as paisagens em que os focos se concentram, na forma de compartimentos morfopedológicos, com o fim de identificar em qual ou quais os focos se concentram e quais as correlações espaciais identificadas (geologia, solos, relevo, uso do solo/fragmentação).

A figura 44 mostra a localização e os *clusters* das maiores densidades de focos erosivos por km² identificado diante o mapeamento de focos erosivos, e classificadas por grau de criticidade, utilizando o cálculo de densidade, e denominados de Áreas Críticas (AC).

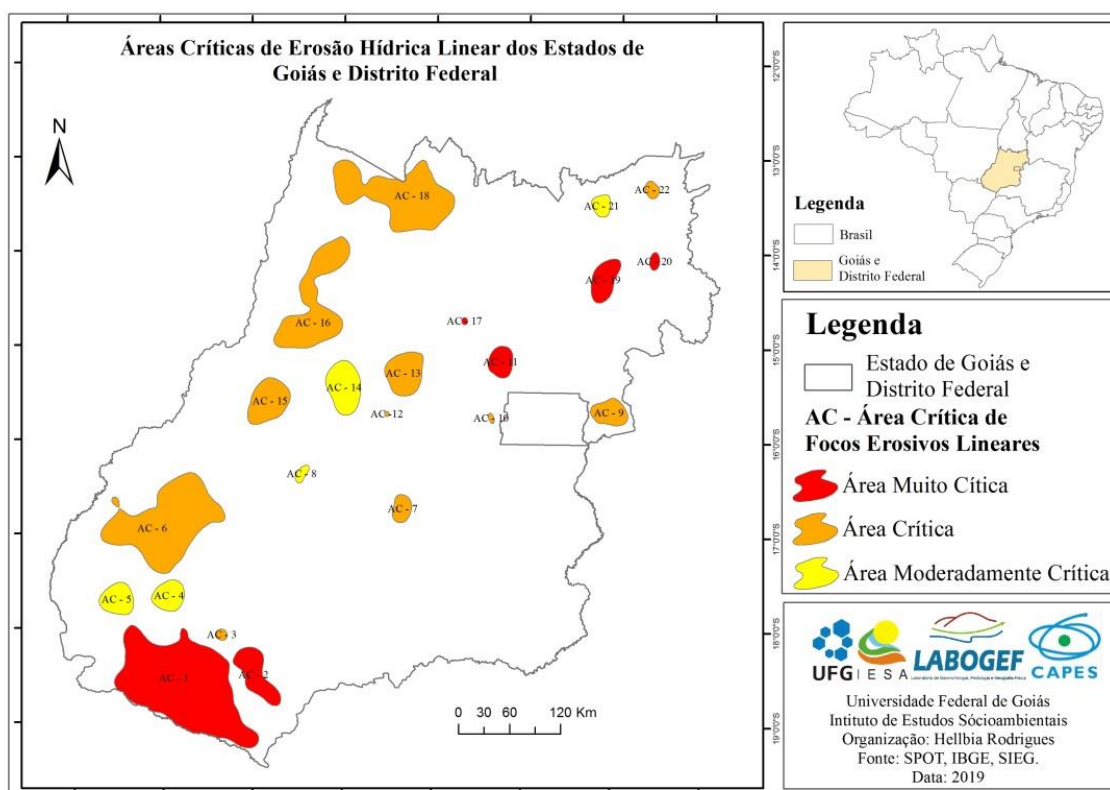


Figura 44. Áreas Críticas de Erosão Hídrica Linear– GO/DF.

Ao todo, foram reconhecidas 22 AC no Estado, entre as quais foram selecionadas duas áreas classificadas como “Áreas Muito Críticas” (AMC), correspondentes às que apresentaram as maiores densidades identificadas para o estudo dos principais indicadores dos processos erosivos hídricos lineares. As áreas selecionadas correspondem a AMC 1 e AMC 17 que, respectivamente, se localizam no extremo Sul-sudoeste ($0,39 \text{ focos/km}^2$) e no Centro-norte ($0,49 \text{ focos/km}^2$) do Estado (Figura 45).

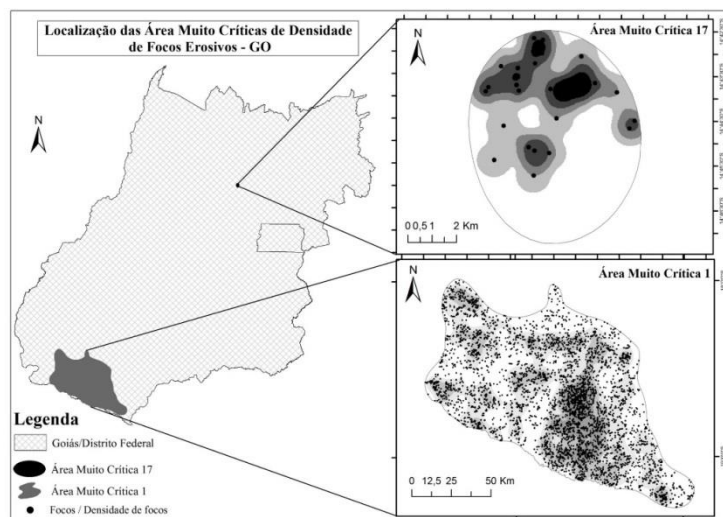


Figura 45. Localização das Áreas Muito Críticas 1e 17 – GO.

A AMC 1 localiza-se no Sul-Sudoeste do Estado e possui área de aproximadamente 12.889,04 km² e 5073 focos erosivos mapeados. A AMC 17 localiza-se no Centro-Norte do estado e possui uma área de aproximadamente 48,85 km² e 24 focos erosivos mapeados. São áreas que possuem evidente diferença geoambiental, contudo possuem maior criticidade quanto à densidade, além de localização quase oposta no Estado, o que lhes confere contraste, o qual pode justificar indicadores diversos do processo. A seguir a caracterização das duas Áreas Muito Críticas selecionadas para o estudo de detalhe.

6.1 Área Muito Crítica 1 (AMC 1)

A AMC 1 localiza-se no extremo sul-sudoeste do estado de Goiás, possuindo dimensão 12889,04 km², sendo a maior das 22 áreas críticas identificadas no Estado. A figura 46 apresenta os compartimentos morfopedológicos (CMP) e respectivos condicionantes geoambientais identificados.

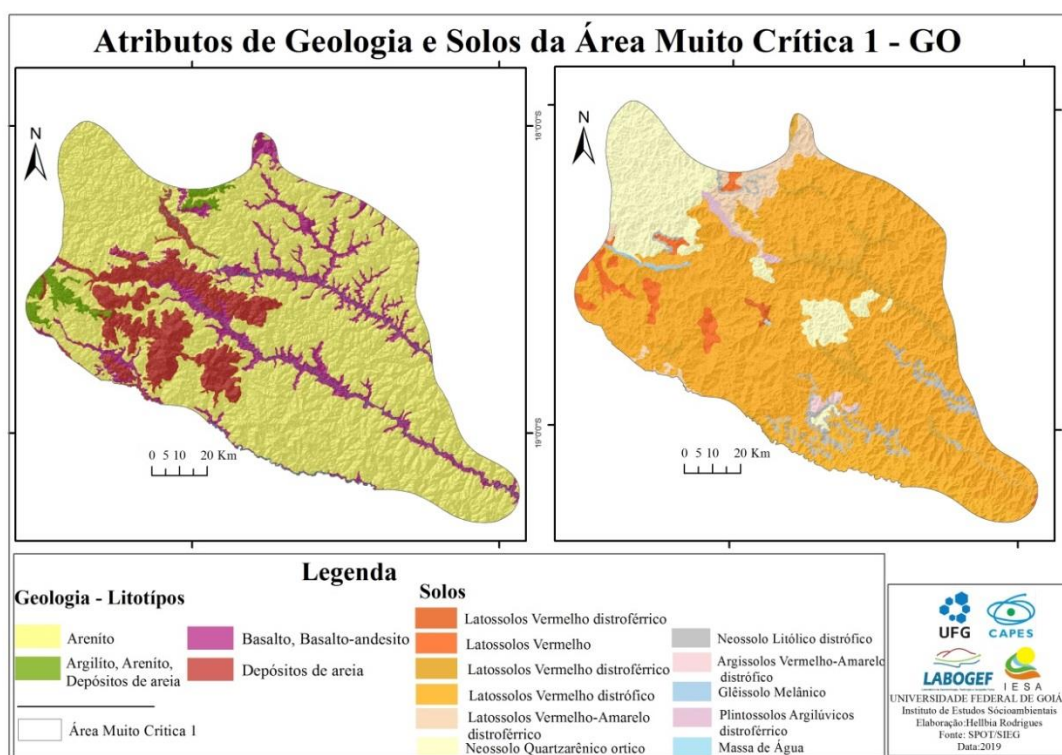


Figura 46. Atributos de Geologia e Solos da Área Muito Crítica 1 – GO.

Os litotipos predominantes na AMC 1 são os Arenitos, do Grupo São Bento, Formação Botucatu, da Bacia Sedimentar do Paraná. Seguem-se os litotipos Depósitos de

areia, Depósitos de cascalho, Depósitos de argila, Unidade Coberturas detríticas indiferenciadas, Formação Superficiais também da Bacia Sedimentar do Paraná. A seguir destacam-se os litotipos dos Argilitos, Arenitos e Depósitos de areia, da Formação Cachoeirinha, igualmente da Bacia Sedimentar do Paraná. Nos canais de drenagem encontram-se Basaltos e Basaltos-andesitos do Grupo São Bento da Formação Serra Geral, do grande derrame da Bacia Sedimentar do Paraná.

O Latossolo Vermelho distrófico (Oliveira 2013) é o solo predominante, mas em associação composta de Latossolos Vermelho distrófico típico, textura média, álico, mais Neossolo Latossólico e típico, álico. A segunda classe de maior ocorrência corresponde aos Neossolos Quartzarênicos. As demais classes de solos ocorrem em pequenas porcentagens. Em função desse solos, predominam na área as classes de muito alta a alta erodibilidade, onde o índice de erosividade varia de 7.842,317871 – 8.499,368164 $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$, sendo que os valores mais altos ocorrem na porção sul da AMC 1.

Em termos do relevo é uma área em que predomina a SRA III como unidade geomorfológica, com amplitude altimétrica de mais de 300m para a Zona de erosão Recuante que a limita a Noroeste. A principal característica é a suavidade do relevo e a pouca variabilidade de declives, como pode ser observado na figura 47.

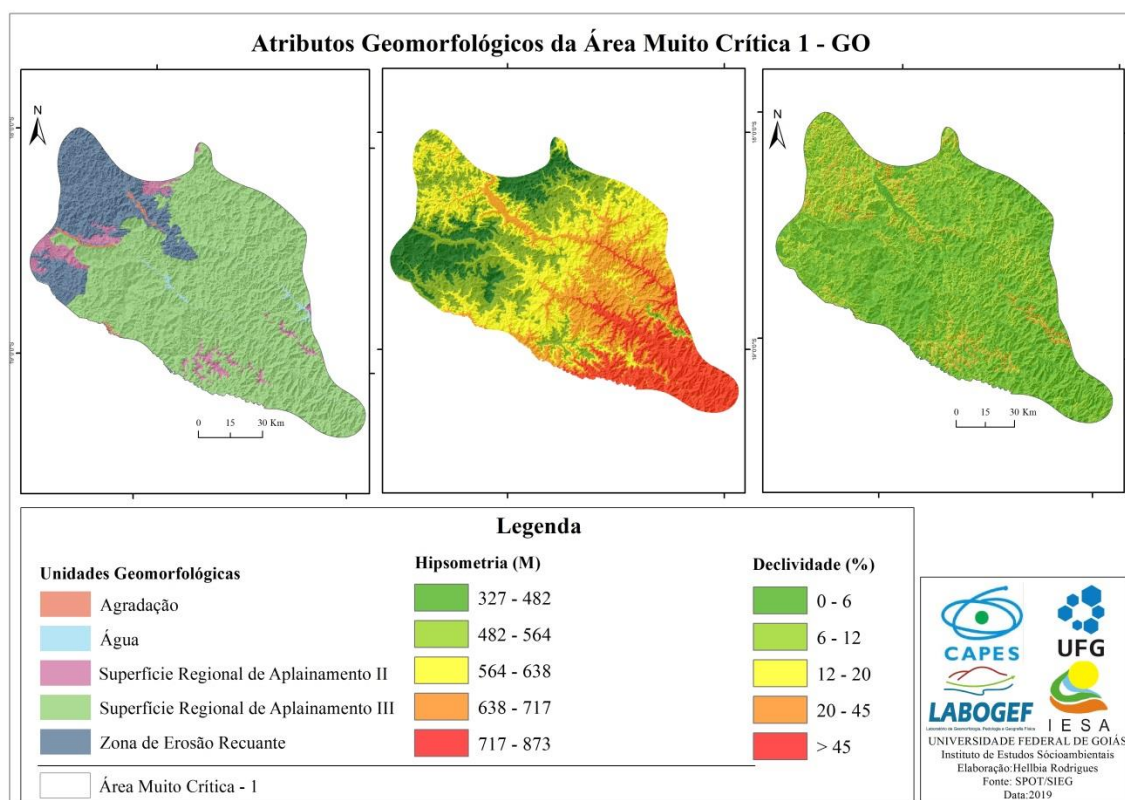


Figura 47. Atributos Geomorfológicos da Área Muito Crítica 1 - GO.

Como pode ser observado na figura 48, a SRA III, dominante na AMC 1 apresenta cotas que variam de 482 à 873 m de altitude, os declives variam de 0 a 12% e o substrato corresponde aos arenitos, além de um pequeno fragmento de Depósito de areia, recobertos pelos Latossolos Vermelho-Amarelo. Já a segunda unidade geomorfológica de maior extensão localizada na porção noroeste, que corresponde à ZER, apresenta cotas que variam de 327 à 638m e declividades de 0 a 20%, onde predominam os Neossolos Quartzarênicos e a associação com Latossolo Vermelho distrófico. Ocorrem ainda pequenos fragmentos de SRA II e Agradação ao noroeste e sudeste da ACM 1, onde ocorrem os Argilitos, Arenitos e Depósitos de areia, Neossolos Litólicos e Argissolos Vermelho-Amarelos. Diante das características geoambientais apresentadas foram identificados e delimitados quatro compartimentos morfo-pedológicos, cujas áreas são serão apresentadas na figura 48 e tabela 7.

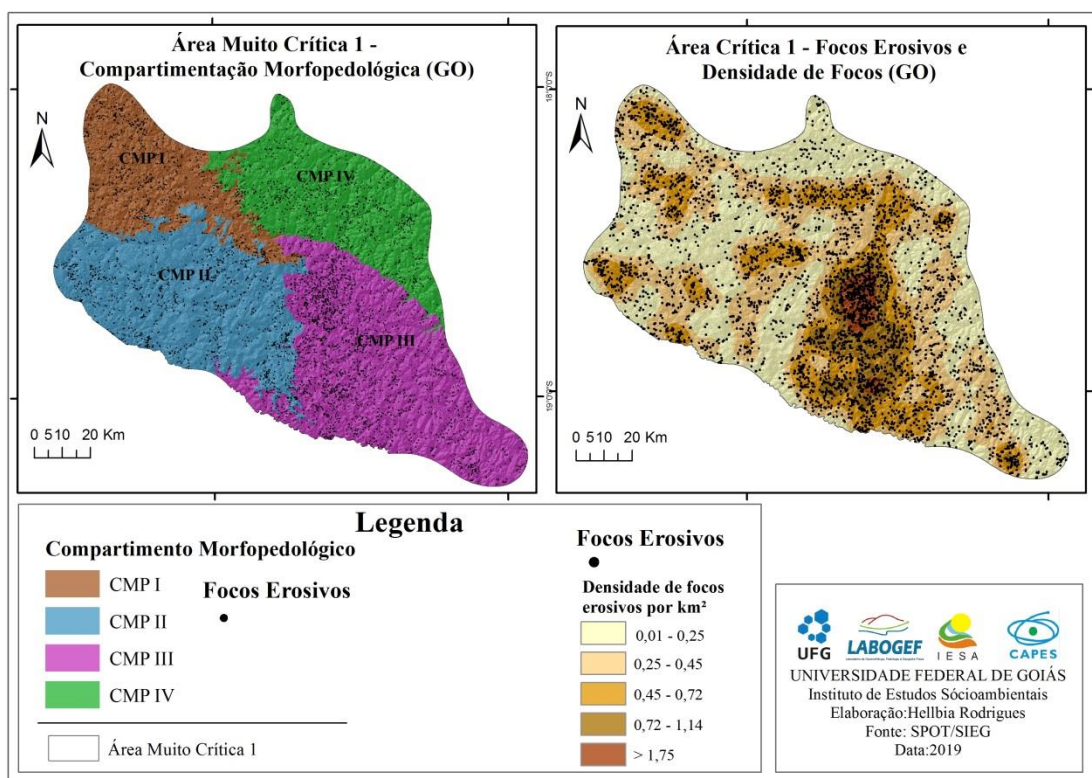


Figura 48. AMC 1 - Compartimentação Morfo-pedológica e Densidade de focos erosivos – GO.

Tabela 13. ACM1: atributos dos CMPs - área, número e densidade de focos.

Compartimentos Morfopedológicos	Área em Km ²	Número de focos	Densidade de focos por km ²
CMP I	1943,21	837	0,01 - 1,4
CMP II	3307,37	1131	0,01 - 1,4
CMP III	3986,12	2320	0,01 > 1,75
CMP IV	2468,62	781	0,01 - 1,4
Total	12889,04	5069	0,39

O CMP I, com 1.943,21km², localiza-se a Noroeste da ACM 1 e apresenta características geoambientais homogêneas, constituídas por arenitos que se associam aos Neossolos Quartzarênicos na ZER, com cotas hipsométricas que variam de 482 a 717m, com declives de 0 a 20 %, cuja maior densidade de focos situa-se em cotas hipsométricas de 564 a 638m e declives que variam de 6 à 20%, relativas aos CMP II e III.

O CMP II, com área de 3.307,37 km², localiza-se a Sudoeste da AMC 1 e apresenta um mosaico litológico, cujo maior o é o dos Depósitos de areia, mas ocorrem também os arenitos, além de pequenas porções de Argilito, Arenito, Depósito e Areia. Em termos de solos ocorre a associação do Latossolo Vermelho distrófico típico, textura média, álico + Neossolo Latossólico típico, álico, além de pequenos fragmentos de Gleissolos Melânicos e Latossolos Vermelhos. Sua unidade geomorfológica predominante é a SRA III, com pequenos fragmentos de SRA II, seguida de um pequeno fragmento de ZER. As cotas hipsométricas desse compartimento variam de 327 a 628m com declividades que variam de 0 a 6 %, sendo o de menor variabilidade de declives da ACM1. O CMP II se destaca como o que concentra grande número de focos erosivos sobre Argilito, Arenito e Depósito de Areia.

O CMP III, como o maior em extensão, com 3.986,12 km², localiza-se a Sudeste da AMC 1, onde o litotipo predominante é dos arenitos, além dos basaltos e basalto-andesitos, ambos localizados nas margens dos canais de drenagem. Sobre esses litotipos ocorrem duas associações de solos, a dos Latossolos Vermelho distrófico típico, textura média, álico mais Neossolo Quartzarênico, álico e a dos Latossolo Vermelho distrófico típico de textura média. Ocorrem também pequenas manchas de Neossolo Quartzarênico, Neossolo Litólico, Argissolo Vermelho-Amarelo. Predomina a classe de muito alta erodibilidade, com ocorrência de uma estreita faixa de baixa erodibilidade na porção sul do CMP III. Ainda no CMP III, predomina a SRA III, com pequenos fragmentos de SRAII. As cotas hipsométricas variam de 638 a 873m, com declividades de 0 a 12%, com algumas variações pontuais de relevo mais movimentado. Este CMP III é o de maior densidade de focos, cujo ponto mais crítico localiza-se na mancha de Neossolos Quartzarênicos, na porção noroeste. Tais

característica corroboram Barbalho (2002), que ao estudar a Alta Bacia do rio Araguaia, identificou a relação espacial entre os focos erosivos hídricos lineares, os arenitos (litotipos) e os Neossolos Quartzarênicos, em relevo de baixa declividade com rampas longas.

O CMP IV com área 2468,62 km², localiza-se ao Nor-Nordeste da AMC 1, onde predominam os litotipos arenitos e, como no CMP III, com ocorrência de basalto e basalto-andesito próximos aos canais de drenagem. Sobre este litotipos ocorre a associação de Latossolo Vermelho distrófico típico, textura média, álico mais Neossolo Latossólico típico, álico. Constata-se, também, pequenas manchas de Latossolo Vermelho distrófico típico de textura média. Predomina assim a classe de muito alta erodibilidade, com uma estreita faixa da classe de baixa erodibilidade ao extremo su-sudeste. Neste CMP IV a SRAIII, predomina na área como unidade geomorfológica, variando a hipsometria de 327 a 873m, com pouca variabilidade de declives. A maior densidade de focos ocorre nas áreas de maiores cotas hipsométricas que variam de 638 à 876m.

Os focos erosivos que ocorrem na AMC 1, como um todo, predominam nas dimensões pequenas a médias, no entanto, ocorrem focos de dimensão maior (possíveis voçorocas), conectadas a canais de drenagem, embora as não conectadas também ocorram. Apresentam-se com diferentes morfologias, seja com ramificações, em linha e até mesmo em formato ovoide, com exposição de solos de coloração clara (esqueletização) e área de solo de coloração mais escura na porção central, indicando lençol freático.

Morgan (2005) salienta que diante do processo de perda de solo, ao longo do tempo, áreas de erosão em uma encosta se tornarão progressivamente mais arenosas e as áreas de deposição terão material enriquecido de partículas de argila. Observando que podem até serem corrigidas com manejo adequado, no entanto, se a correção não for realizada em tempo podem evoluir na paisagem aumentando o potencial do impacto, em especial por serem focos de proximidade de canais de drenagem, havendo a possibilidade de conexão caso evoluam. Camapum et al., (2006) chama esse branqueamento de esqueletização, ou seja de concentração de areia lavada, da qual partículas finas como argilas forma removidas pela circulação hídrica.

A figura 49 ilustra os tipos de focos mapeados para a AMC 1, para cada compartimento.

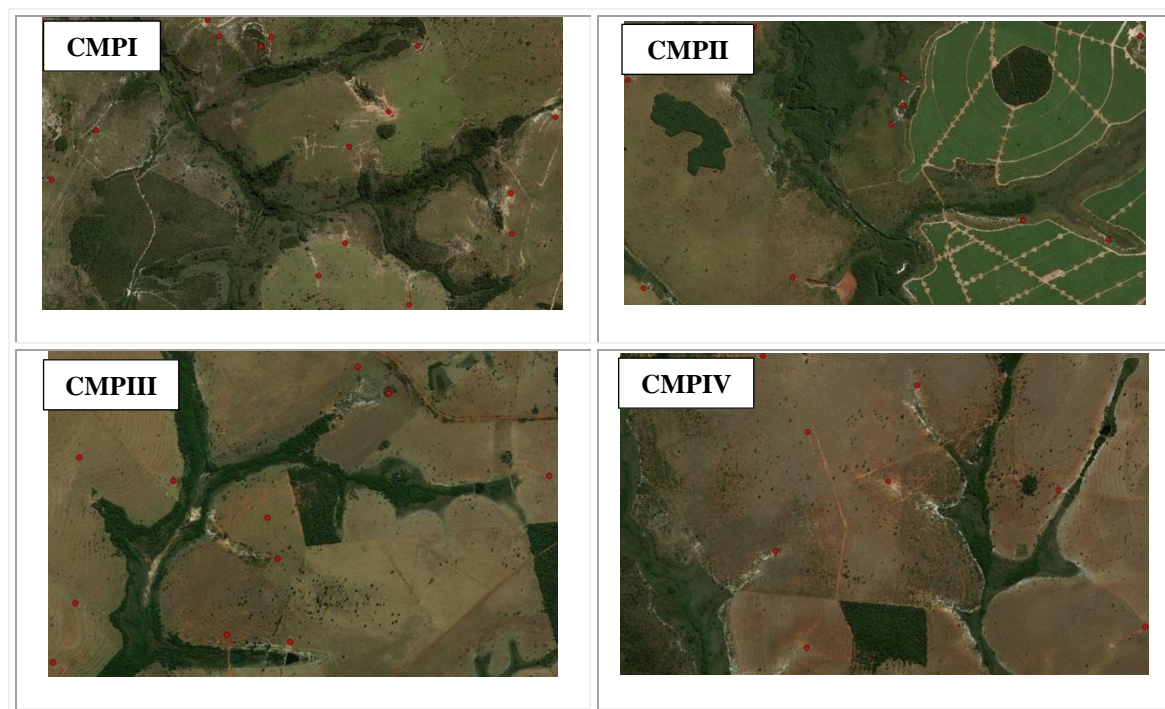


Figura 49. Focos erosivos de cada CMP da AMC 1.

Deve-se ressaltar que a maioria dos focos erosivos conectam-se com o canal de drenagem ou está orientada na direção deles. As imagens permitem constatar visualmente uma relação dos focos erosivos com trilheiros de gado.

O CMP III foi identificado como o compartimento com maior ocorrência de focos erosivos e maior densidade de focos. Esse compartimento possui uma variabilidade maior de classes de solos, de textura média a arenosa, além de ambientes de relevo plano a suave ondulado com cotas hipsométricas propícias à formação de rampas longas. Assim, esse compartimento se constitui nessa área que necessita de intervenção emergencial, pois a maioria dos focos é de pequena a média dimensão e há a possibilidade de correção com maquinário. Os demais compartimentos também possuem densidade elevada de focos e necessitam de atenção, embora não emergencial.

A AMC 1 localizada no Sudoeste do estado de Goiás, em área contemplada no estudo realizado por Trindade e Castro (2015), no qual os autores apontaram que a trajetória da expansão da cana de açúcar em 2013 chega aos solos considerados frágeis de restrições ao uso, em decorrência da redução de oferta de terras, havendo a substituição de áreas de pastagem por áreas de cultivo de cana de açúcar e as áreas de pastagens migrando para áreas onde existia remanescente da vegetação nativa.

Em síntese os indicadores geoambientais dos processos erosivos hídricos da AMC 1 são apresentados na Tabela 8.

Tabela 14. Síntese dos indicadores geoambientais e de uso dos solos na ACM 1.

Aspectos Físicos	CMP	I	II	III	IV
Nº. de focos erosivos		837 focos	1131 focos	2320 focos	681 focos erosivos
Litotipo dominante		Predominam os arenitos com 1.675,40km ² (86,21%).	Predominam os Arenitos com 1.637,99 km ² (49,52%), seguidos dos Depósitos de areia com 1.170,24 km ² (35,38%).	Predominam os Arenitos com 3.487,14 km ² (87,48).	Predominam os Arenitos 1.814,07 KM ² (73,48%), pequenas manchas de Basalto, Basalto-Andesito 564,36 KM ² (22,86).
Superfície dominante		Zona de Erosão Recante com 1.746,60km ² (89%).	Extensa área de SRA III com 2.541,94 km ² (76,76), seguida de uma pequena ZER com 389,79 km ² (11,77%) e SRA II com 304,89km ² (9,20%).	Predominam extensa área de SRA III com 3.804,04 km ² (95,59%).	Predomínio da SRA III com 2.330,60km ² (94,40).
Hipsometria dominante (m)		Cotas que variam de 482 > 700.	Cotas que variam de 482 >700m.	Cotas que variam de 317 >638m.	Cotas que variam de 482 > 700m.
Declive dominante (%)		Declives que variam de 0 – 21%.	Declives que variam de 0 – 4%.	Declives que variam de 0 – 4%.	Varia de 0 -10%.
Solo dominante		Neossolos Quartzarênicos com 1.329,19km ² (68,40%); Latossolos Vermelho distrófico com 341,71km ² (17,58%).	Associação de Latossolos Vermelho distrófico, textura média com Neossolos Quartzarênico 2.886,90 km ² (87,28).	Predominam os Latossolos Vermelho distrófico textura média 3.097 km ² (77,71), e Neossolos Quartzarênicos, 353,27km ² (8,86 %).	Predomina associação de Latossolos Vermelho distrófico textura média, com pequenas manchas de Neossolos Quartzarênicos com 1812,87 km ² (73,43), e Latossolos Vermelho distroférico com 333,48km ² (13,50%).
Erodibilidade dominante		Classe I – Muito Alta Erodibilidade com 1474km ² (94%).	Classe I – Muito Alta Erodibilidade com 2.886,90 km ² (87,28%)	Classe I – Muito Alta Erodibilidade com 3.450,2km ² (86,55%).	Classe I – Muito Alta Erodibilidade com 2.146,35km ² (86,94%).

6. 2. Área Muito Crítica 2 (AMC 17)

A AMC 17 é também de maior densidade de focos erosivos identificados no Estado, embora seja de pequena dimensão, 48,85 km². Localiza-se no Centro-Norte do Estado, sendo muito particular e com apenas dois compartimentos morfopedológicos, cujas áreas são similares, porém com características do meio físico distintas (figura 50).

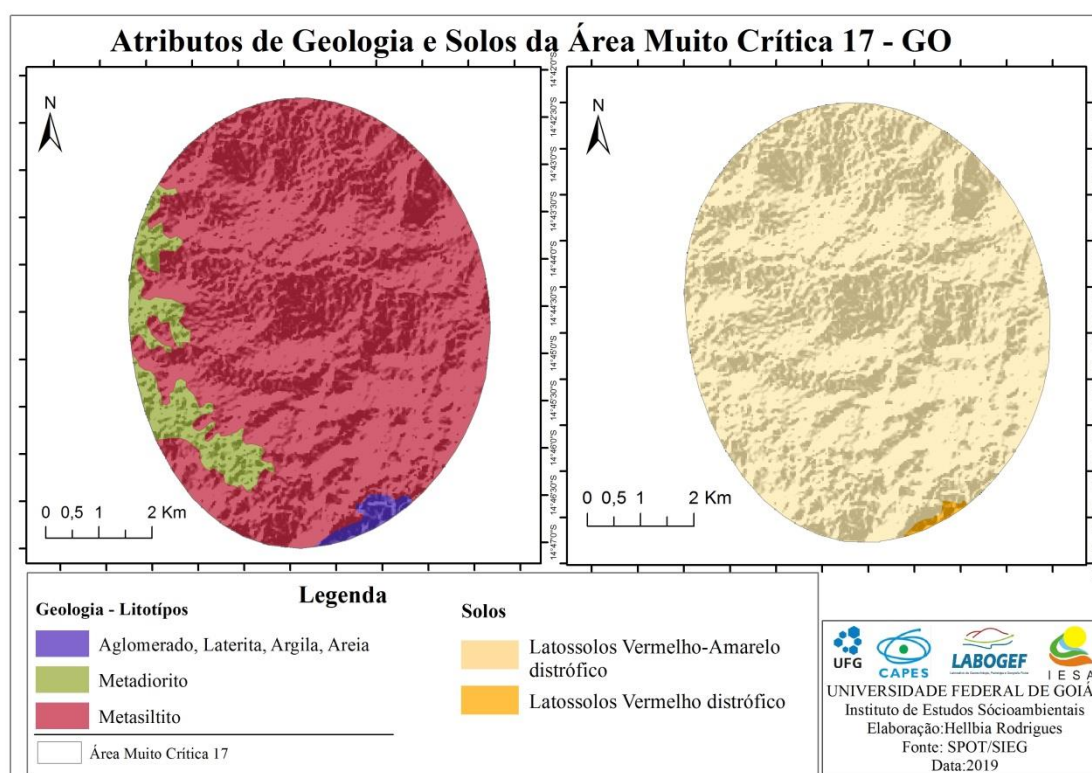


Figura 50. Atributos de Geologia e Solos da Área Muito Crítica 17 – GO.

O litotipo de maior extensão na AMC 17 é o Metassiltito, de origem marinha e submetido a metamorfismo de rochas sedimentares, cuja mineralogia essencial é constituída de Quartzo, Feldspato alcalino e Muscovita/sericita. É um litotipo com estrutura levemente orientada pela disposição dos filossilicatos finos (argilas) e concordantes de quartzo granular (MACHADO et al., 2017). Os Metassiltitos situam-se na Província Tocantins, Faixa Brasília, Grupo Paranoá (CAMPOS, 2013). O litotipo Metadiorito também é uma rocha metamórfica, igualmente situado na Província do Tocantins, Faixa Brasília. É o litotipo de menor extensão e corresponde aos Aglomerados, Lateritas, Argilas, Areias de origem sedimentar.

Quanto aos solos predominam os Latossolos Vermelho-Amarelo distróficos, mas de acordo com o mapa de Oliveira (2013) a maior extensão seria de uma associação de Latossolo

Vermelho-Amarelo distrófico típico, de textura média a argilosa, como principal, mais Cambissolo Háptico distrófico típico, de textura média cascalhenta, mais Plintossolos Pétricos, de textura média muito cascalhenta. Esses solos foram classificados como de baixa erodibilidade, por predominar a classe de Latossolos Vermelho-Amarelo, no entanto, Salomão (2015) lembra que os Latossolos Vermelho-Amarelos, por possuírem elevados teores de argila dispersa e baixa estabilidade de agregados, costumam ser mais suscetíveis à erosão. Acrescente-se que de forma restrita, situada no extremo sudoeste da AMC 17 ocorre a associação de Latossolo Vermelho distrófico mais Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, ambos típicos, de textura argilosa, mais Plintossolos Pétricos léptico, de textura média muito cascalhenta. Os litotipos Metadiorito e Metassiltito estão sob a mesma classe de solos, no entanto possuem variáveis geomorfológicas que diferem de uma classe de litotipo para outra (Figura 51).

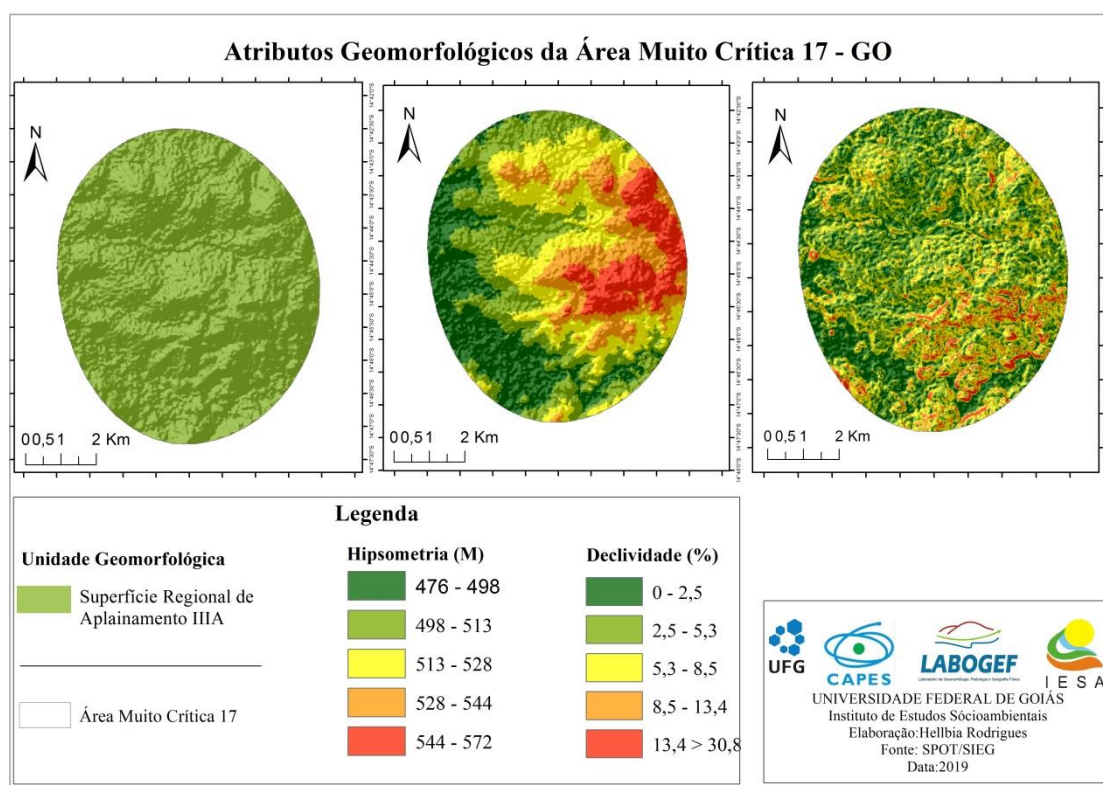


Figura 51. Atributos Geomorfológicos da Área Muito Crítica 17 – GO.

A AMC 17 situa-se sobre uma única Superfície Regional de Aplainamento (SRA) presente na área, a SRA- IIIA, com pouca variação de altitude, com predomínio de altitudes de 476 a 513m, e declividades de 0 a 5,3 %, predominando relevo plano a suave ondulado, o

que a diferença bastante da ACM 1. Os litotipos Metadiorito ocorrem nas menores cotas hipsométricas e de declividade. Os litotipos de maior predominância ocorrem em cotas hipsométricas que variam de 489 a 572m em relevo de maior declive, que chega a ser >30,8 %. Diante do exposto, foram identificados 2 compartimentos (CMP), como pode ser observado na figura 52.

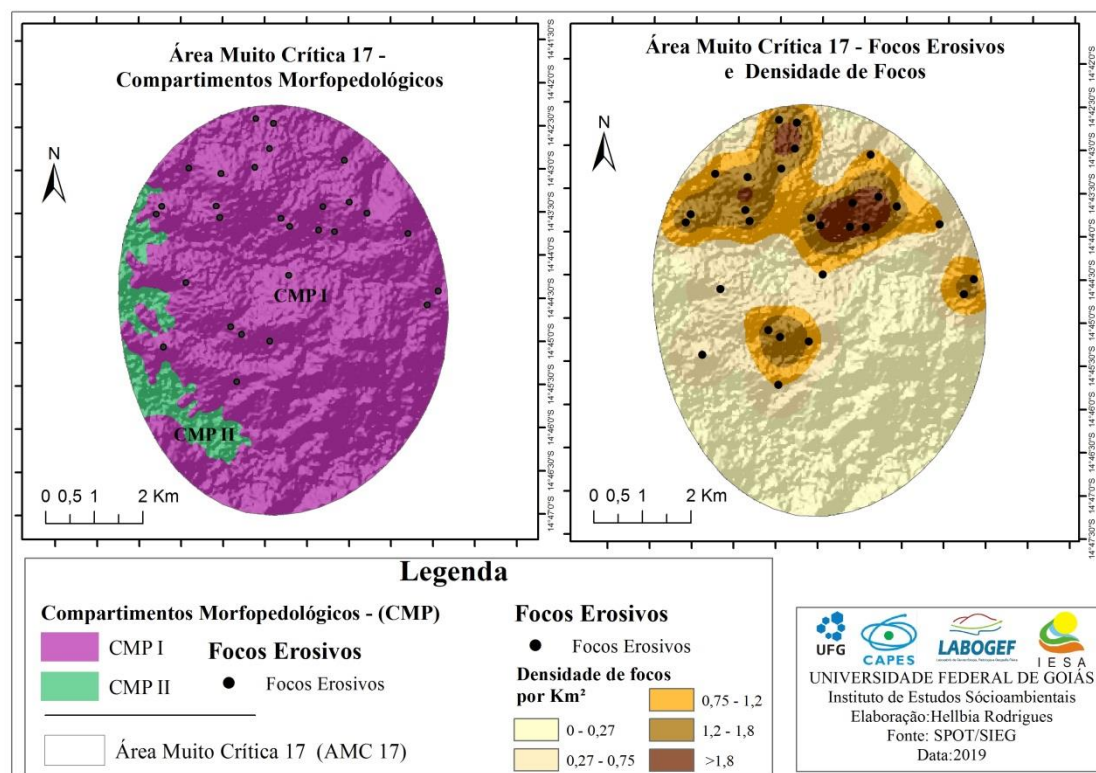


Figura 52. Compartimentação Morfopedológica e Densidade de Focos Erosivos da AMC 17 – GO.

Os dois compartimentos, o CMP I e CMP II. O CMP I possui a maior dimensão, com predomínio de litotipos Metasiltilito e um pequena área de aglomerado de Laterita, argila, areia. Sobre estes litotipos ocorre a associação de Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos típicos, de textura média a argilosa mais, Cambissolos Háplico distrófico típico, de textura média cascalhenta mais Plintossolos Pétricos, lépticos, de textura média muito cascalhenta. A associação de solos foi classificada como de moderada erodibilidade diante da presença de Cambissolos de textura média.

O compartimento CMP I, se comparado ao CMP II, possui o relevo mais movimentado, com cotas hipsométricas que variam de 498 a 572m e declividades que variam de 0 a > 30,8%. No entanto, é possível observar que os focos se concentram mais no CMP I,

somando 28 focos erosivos, correspondendo também à maior densidade de focos na porção norte da AMC 17.

O CMP II se diferencia quanto ao litotipo presente os Metadioritos e relevos de predomínio plano a suave ondulado, com cotas hipsométricas que variam de 476 a 498m, e declividade que varia de 0 a 2,5%, sem focos erosivos, mesmo estando sob o mesmo tipo de solos do CMP I.

O índice de erosividade na AMC 17 varia de 8278,4 a 8160,44 $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$, os valores mais elevados de chuvas ocorrem na porção de maior ocorrência de focos erosivos, ano norte no CMP I.

A figura 53 mostra exemplos de focos erosivos da AMC 17, os quais são de pequeno a médio porte, caracterizado como pequenas ravinas.



Figura 53. Focos erosivos da AMC 17, do CMP I.

A forma como os focos erosivos se apresentam nesta área é representativa das regiões Noroeste, Norte e Nordeste do estado de Goiás, pois em sua grande maioria, são pouco profundos. Porém, mesmo que não sejam focos de grande dimensão, é possível visualizar a cor branca do solo ao seu redor (esqueletização), próximos a canais de drenagem e estradas, o que indica instabilidade do material, a qual pode evoluir para focos maiores. A tabela 9 sintetiza os indicadores geoambientais da AMC 17.

Tabela 15. Síntese dos indicadores geoambientais e de uso dos solos na ACM 17.

Aspectos Físicos	<i>CMP</i>	<i>I</i>	<i>II</i>
Nº. de focos erosivos		24 focos	0 focos
Litotipo dominante		Metassiltito 40,88km ² (83,68%)	Metadiorito 6,02km ²
Superfície dominante		SRA III 48,85km ² (100%)	SRA III

Hipsometria dominante (m)	Cotas que variam de 476 >572m.	Cotas que variam de 476 >498m.
Declive dominante (%)	Varia de 2,5 >30%.	Variação de 0 -5,3%.
Solo dominante	Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa e média com Cambissolos distrófico textura média casaclhenta com 44,95km ²	Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa e média com Cambissolos distrófico textura média casaclhenta com 4,05km ² (81,98km ²)
Erodibilidade dominante	Classe III – Moderada Erodibilidade 4,05km ² (81,98km ²)	Classe III – Moderada Erodibilidade

A seguir a relação dos indicadores geoambientais com o uso do solo e a fragmentação da cobertura vegetal das duas AMC 1 e 17.

6.3. Uso das Terras e Fragmentação da Cobertura Vegetal e Focos Erosivos

O estado de Goiás encontram-se no Brasil Central, no bioma Cerrado. No entanto, a expansão da fronteira agrícola, principalmente desde as décadas de 1960-1970, converteu grande parte do Estado em áreas agrícolas e sobretudo pecuárias, tornando esse Bioma fragmentado em remanescentes, nem sempre com boas condições ecossistêmicas. A fragmentação é um impacto negativo produzido pela ação humana, produto do desmatamento e conversão a novos usos, que altera as paisagens naturais em uma dinâmica de milhares de vezes maior que a perturbação natural dos ecossistemas (TABARELLI; GASCON, 2005).

A Cobertura vegetal original de um ambiente é fundamental para auxiliar na infiltração das águas pluviais assim como reduz o impacto das gotas de chuva sobre o solo. Ao estudar a paisagem do estado de Goiás, utilizando os índices de fragmentação determinados por Carvalho; Marco Júnior; Ferreira, (2009), pode-se concordar com os autores quando afirmam que a conservação da biodiversidade do bioma Cerrado é conflitante com o contraste que existe entre a fragmentação de habitat por atividade humana e a conservação das terras.

Nesse aspecto, esse processo de uso ocupação do Estado foi impulsionado pela Revolução Verde da década de 1960 e posteriormente pelos planos de intervenção do Governo Federal, da década de 1970, sobretudo o II Plano Nacional de Desenvolvimento (IIPND), o Programa de Cooperação Nipo-Brasileira de Desenvolvimento das Áreas de Cerrado (PRODECER) e o Programa de Desenvolvimento das Áreas de Cerrado (POLOCENRTO), os quais culminaram em uma rápida ocupação do território (GOMES e TEIXEIRA NETO, 2004). Nesse contexto, a Sul goiano se destacou, devido sua maior aptidão agrícola e logística.

Assim, sofreu mudança notável de paisagem devido remoção rápida e intensiva da cobertura com correntões, prática usual na época, seguida da conversão em pastagem para criação extensiva de gado bovino, e só depois reconvertida em áreas de cultivo de grãos, sobretudo soja, sorgo e milho (SILVA, 2004) e mais recentemente de cana-de-açúcar (Castro et al, 2010). Siqueira (2017) ao estudar a porção mais a oeste da alta bacia do rio Araguaia, no Sul Goiano, também constatou a mesma dinâmica, mas ressaltou diferenças para menor fragmentação sobre solos frágeis inaptos para o cultivo de grãos. Isso também ficou evidente no trabalho Carneiro (2012) em que a bacia do rio dos Peixes foi pouco ocupada em razão da presença de solos frágeis.

Castro (2005) ao estudar a região das Nascentes do rio Araguaia, no extremos sudoeste do Estado, ressaltou que a degradação decorrente desse processo de uso e ocupação incorreu na rápida conversão de áreas de remanescentes em pastagem e agricultura, intimamente ligado ao desmatamento, resultou no isolamento de fragmentos de remanescentes afetando diretamente o solo e a água por contaminação advindos de corretivos agrícolas e gerando impactos erosivos e de assoreamento. Em estudos de impacto de fragmentação da alta bacia do rio Araguaia, que abrange parte centro sul do estado, Faria e Castro (2010) identificam na sub-bacia do rio Claro um risco ambiental elevado pelo baixo suporte à biodiversidade, em função das características físicas dos fragmentos.

Em período mais recente ocorreu uma notável expansão canavieira (CARVALHO; MARCO JÚNIOR; FERREIRA, 2009) nessa região Sul Goiano, para a qual estudos como o de Rodrigues e Castro (2014) evidenciaram a ocupação das melhores áreas agricultáveis, fazendo com que produtores de soja, sorgo e milho busquem novas áreas, até mesmo as de pastagem, e por conseguinte as pastagens ao buscarem novas terras depararam-se com áreas ainda preservadas, ocupando áreas de Cerrado nativo, ampliando ainda mais o impacto de fragmentação e perda de biodiversidade, um impacto diagnosticado como indireto. Abdala e Castro (2010) ao focarem a porção mais a leste do Sul Goiano também identificaram a mesma chave de sucessão de uso. Castro et al (2010) resumem essa mesma chave. Assim, diante desse histórico de uso e ocupação no estado de Goiás, o solo foi uma variável importante, por ser um recurso fundamental no processo de produção, sendo que a fragmentação se deu preferencialmente nos melhores solos.

Para o estudo da fragmentação da paisagem das áreas muito críticas (AMC 1 e 17) foi utilizado mapa de uso ocupação e remanescentes do Cerrado e, para tanto, a análise realizada com base na interpretação das métricas da paisagem CA (Área da Classe na Paisagem) e

PLAND (Porcentagem da Classe na Paisagem). Assim, na AMC 1 a pastagem se destaca, mas predomina a cobertura campestre (Figura 54).

Os usos correspondem a quatro classes: Cultura anual e perene, Cultura semi-perene, Pastagem, Mineração e Infraestrutura Urbana, que, juntas, cobrem 72,71% da área total da AMC 1. As áreas de remanescentes do Cerrado e Floresta Plantada correspondem à 26,05% da área total da AMC 1, o que evidencia um impacto de fragmentação da vegetação natural.

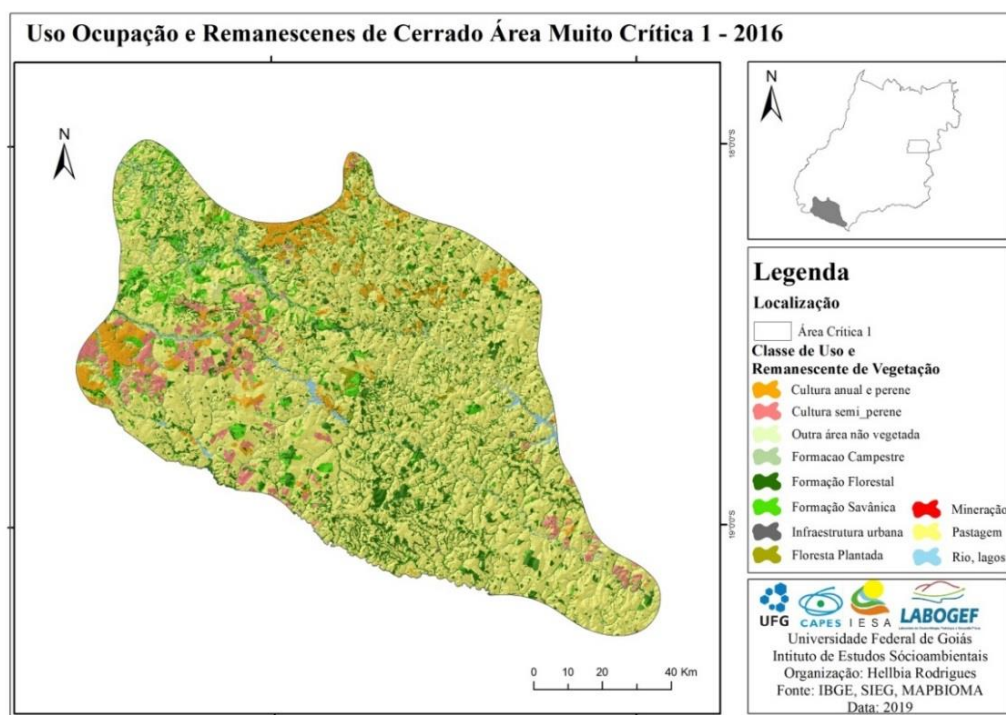


Figura 54. Uso ocupação e Remanescentes de Cerrado da Área Muito Crítica 1 (2016).

O impacto de fragmentação de uma área está intimamente ligado ao potencial de desempenho de serviços ecossistêmicos, serviços que incluem regulação climática, abastecimento de água, alimentos, controle de secas e inundações, manutenção da biodiversidade, todos benéficos para o ser humano (TABARELLI; GASCON, 2005). Os dados referentes a todas as classes mapeadas da AMC 1 podem ser vistos a figura 55 a seguir.

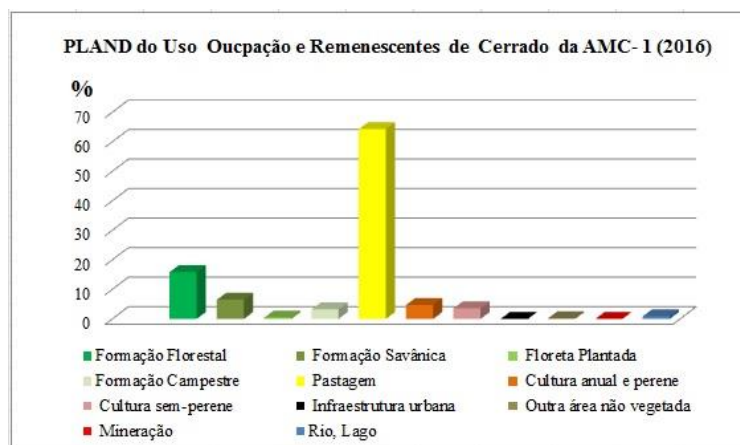


Figura 55. Uso Ocupação e Remanescentes de Cerrado da Área Muito Crítica 1 (2016).
Legenda:*PLAND métrica correspondente à porcentagem de cada classe mapeada.

A pastagem é a classe de maior extensão correspondendo a 64,34% da área. Os solos, por serem de textura arenosa e classificados de muito alta a alta erodibilidade, possuem limitações de uso e, portanto, a agricultura na área ocorre de forma isolada. A cultura semi-perene corresponde a 3,58% e a cultura anual perene a 4,76 %. Contudo, os focos erosivos predominam nas áreas de pastagem, associados a trilheiros, embora também ocorram associados a áreas de cultivo.

A classe de remanescentes de Cerrado com maior extensão na área corresponde à formação Florestal com 15,86%, localizada em especial junto aos canais de drenagem, atuando como Áreas de Preservação Permanente (APP). As formações savânicas localizam-se em sua grande maioria na porção noroeste, em ambientes de Neossolos Quartzarênicos, circundadas por áreas de pastagem.

Dados da WWF Brasil (2018) apontam que a fragmentação de habitats consistem atualmente na maior ameaça à integridade desse Bioma, tendo como as principais atividades a pecuária e os grãos, lembrando que a mineração também trouxe para os ambientes de Cerrado problemas graves como contaminação de cursos d'água por mercúrio, assoreamento, assim como processos erosivos intensos. Contudo, o que representa o maior fator de risco para o Cerrado é mesmo a expansão da agricultura e pecuária.

A AMC 1 corresponde a uma área com características físicas que indicam suscetibilidade à erosão, assim o manejo dos solos nessa área deveria ser alvo de uma intervenção de planejamento, fundamentalmente para compatibilizar os usos com a aptidão agrícola da área. A erosão de grande porte é identificada mais nessa AMC 1, levantando o alerta da fragilidade da área para um impacto que pode promover perda de solos. É importante ressaltar que o impacto da erosão, assim como afirmam Blanco e Lal (2008), não se restringe a uma ação local, por envolver diversas vertentes, a natural, econômica e por

consequente a social, portanto é possível afirmar que a ação do uso é uma atividade conectada diretamente a impacto de erosão para as áreas, sendo um fator associado também à questão de limitações físico naturais que há nas áreas.

Em síntese, os focos erosivos situam-se nas áreas de pastagem, o que pode ser observado ao cruzar mapa de uso e focos erosivos (Figura 56). A análise indica também um ambiente repleto de trilheiros associados aos focos, uma dinâmica em direção aos canais de drenagem o mesmo direcionamento dos focos erosivos mapeados.

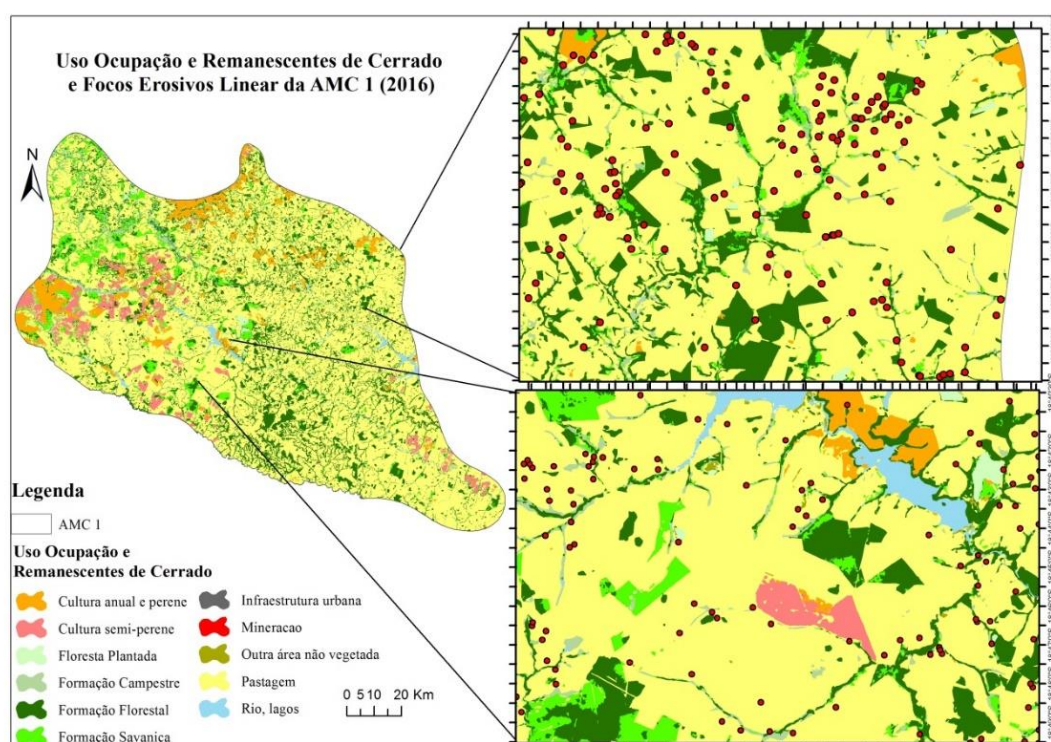


Figura 56. Uso do solo e Remanescentes de Cerrado da AMC 1 e focos erosivos (2016).

Como a AMC 1 possui maior extensão quando comparada à AMC 17, é necessário ampliar o estudo para colocar em evidência o cruzamento dos focos erosivos com o uso ocupação, de forma amostral.

Em relação aos dados de erosividade assim como ocorre na AMC 17, o índice de erosividade para a AMC 1 não é representativo se comparado com os índices distribuídos em todo o Estado, pois nesta a erosividade varia de 7842,31 a 8499,36 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$. No entanto, as áreas de maior ocorrência de focos associam-se com as de maior índice na porção centro-sul da área.

Na AMC 17 apesar de ser uma área de pequena extensão territorial também é possível identificar a predominância da pastagem, área que seria possível uma intervenção mais rápida

pela extensão da área e dimensão dos focos, além da acessibilidade a área pela logística (Figura 57).

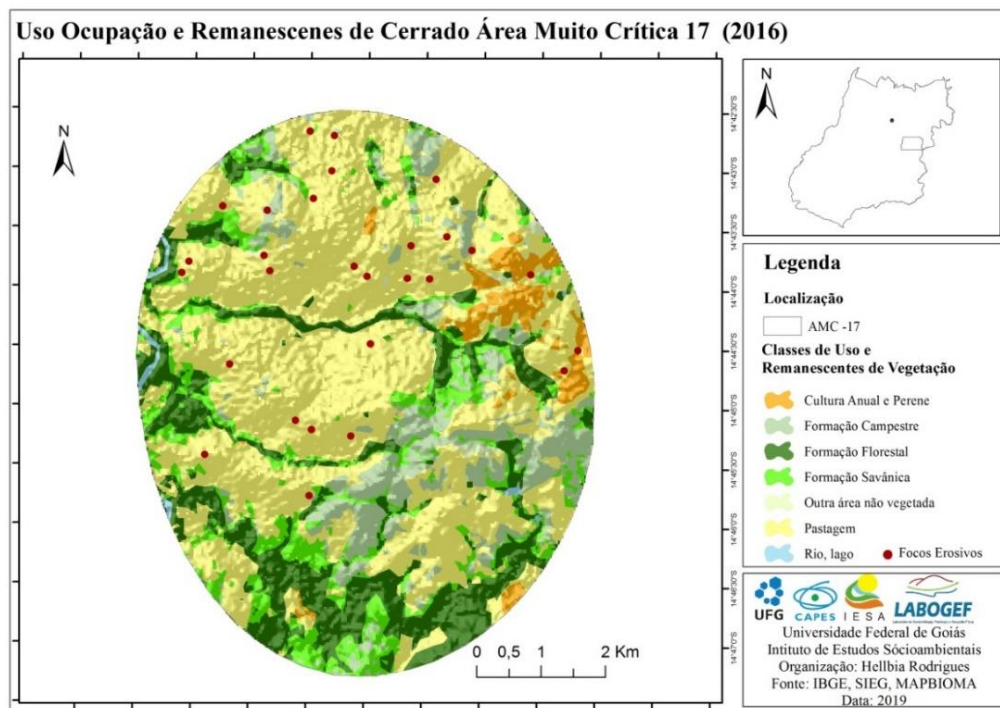


Figura 57. Uso do solo, Remanescentes de Cerrado e Focos erosivos da Área Muito Crítica 17 (2016).

Visualmente é possível observar que os focos erosivos se concentram nas áreas de pastagem e que as únicas áreas de remanescentes em que ocorrem focos erosivos são as formações campestres, as quais foi possível identificar que também possuem trilheiros, o que indica que o gado avança sobre essas áreas. Os remanescentes mais significativos de vegetação da área acompanham os canais de drenagem, áreas consideradas de preservação permanente (APP). Por outro lado, as formações campestres ocorrem em áreas circundadas de pastagens, correspondendo aos fragmentos que não se circunscrevem apenas aos dos canais de drenagem. As classes mapeadas segundo a métrica PLAND, estão representadas na figura 58.

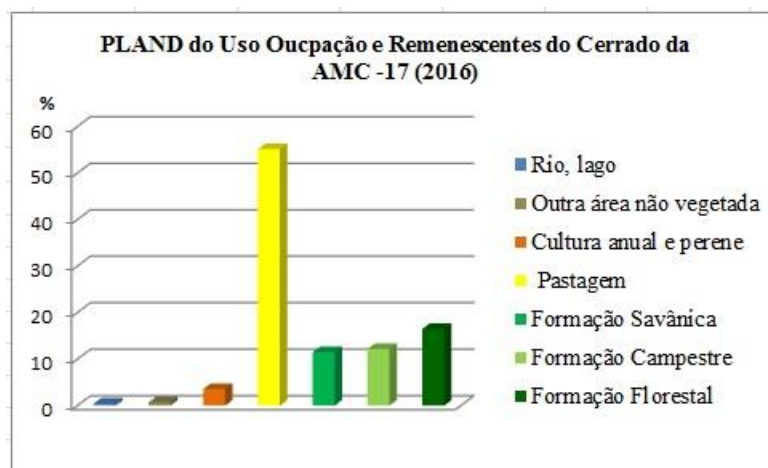


Figura 58. Uso ocupação e Remanescentes de Cerrado da Área Muito Crítica 17 (2016).

Legenda: *PLAND métrica correspondente à porcentagem de cada classe mapeada.

As classes de uso Cultura anual e perene e Pastagem correspondem a 58,68% da área total e as áreas de vegetação, em seu total, correspondem à 40,84% da área total. A pastagem é, portanto, predominante. Carvalho; Marco Júnior; Ferreira (2009) apontam que as áreas de pastagem apresentam fragmentos com maior irregularidade, o que pode causar aumento das arestas e perda de área central.

O desmatamento de uma floresta para pastagem causa declínio na resistência do solo ao cisalhamento e, ao longo do período de cinco a dez anos, as raízes das árvores podem se decompor (MORGAN, 2005), e para tanto, com a perda da cobertura original o solo torna-se mais suscetível à erosão hídrica linear, não possuindo mais a vegetação que atuaria no amortecimento das gotas de chuva, assim como o auxílio que as raízes das plantas desenvolvem na agregação das partículas do solo, e infiltração da água.

Por outro lado, o índice de erosividade não é representativo se comparado ao de todo o Estado, pois varia de $8160,44 - 8251,56 MJ mm ha^{-1} h^{-1}$, no entanto, na porção centro-norte da AMC 17, pode-se constatar que o índice de maior intensidade também concentra maior ocorrência dos focos de erosão

Diante do exposto pode-se afirmar que as AMC 1 e AMC 17 são áreas que possuem impacto de fragmentação da vegetação natural, que os remanescentes se restringem aos canais de drenagem, são dominadas pela pastagem, a qual contém a maior densidade de focos erosivos.

Em síntese, no uso de áreas frágeis sem planejamento de controle do potencial erosivo encontra-se a explicação do processo no Estado, reproduzindo o que ocorreu ou ainda ocorre em outras áreas do País. Isto porque acelera a velocidade e energia das enxurradas aumentam e a falta de cobertura adequada impulsionam o processo. Contudo, características da topografia podem favorecer ou não o seu desenvolvimento.

6.4. Caracterização Morfométrica e Focos Erosivos

O escoamento superficial expõe o comportamento dos fluxos hídricos no terreno, uma vez que o aumento da sua velocidade resulta da associação do comprimento com a declividade da vertente. Para a AMC 1, esta não propiciaria o aumento de intensidade de escoamento, como ilustrado na figura 59 a seguir.

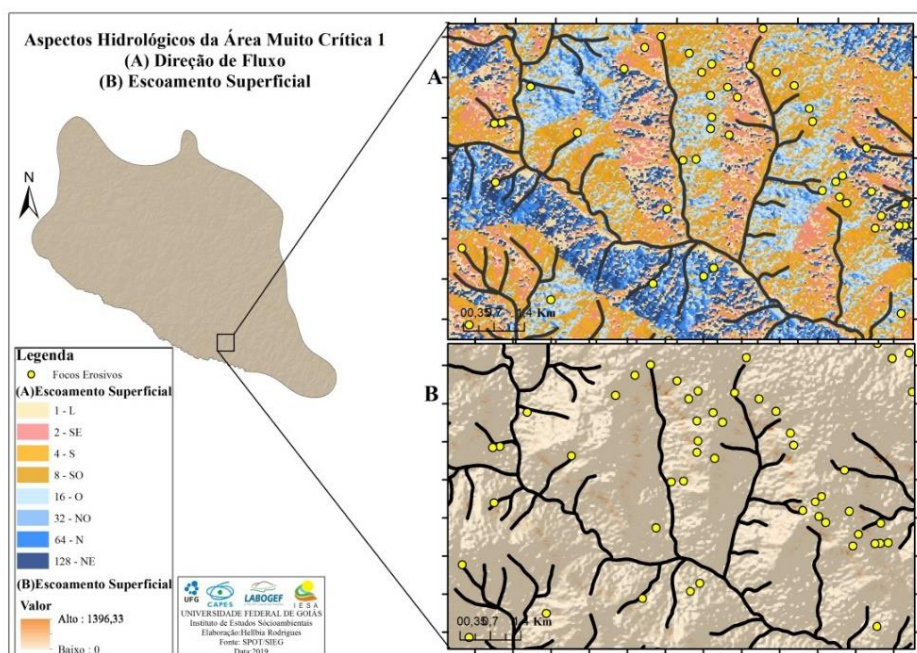


Figura 59. Aspectos hidrológicos da Área Muito Crítica 1.

Paralelamente, a AMC 1 como um todo possui um relevo pouco movimentado e em relação às áreas de escoamento superficial, a porção Sul e Sudoeste são os ambientes com maior ocorrência de focos, os quais também possuem maior probabilidade de retenção de umidade pela posição em relação à insolação. Os ambientes de escoamento superficial trazem poucas áreas com valores alto de escoamento limitando-se ao encaixe da drenagem no relevo, cuja vertente expõem esses valores maiores, correlatos à ocorrência dos focos na área selecionada.

No caso da AMC 17, ao contrário da anterior, os valores maiores de escoamento superficial não estão diretamente ligados à área de maior ocorrência de focos erosivos (figura 60).

No que tange à direção de fluxos é conveniente observar que nos ambientes aonde há ocorrência dos focos, 12 deles estão na direção de fluxo de norte para nordeste, área de maior

exposição de radiação solar e por conseguinte menor umidade natural. Os demais 11 focos localizam-se em vertentes do sul para sudoeste. Valeriano (2003) e Rosa (2012) explicam que ao longo do ano a incidência de radiação solar se apresenta menor nessas direções na região e por conseguinte favorece maior retenção de umidade nos solos. Entretanto, não há predominância de focos erosivos na AMC 17 para uma mesma direção de escoamento superficial.

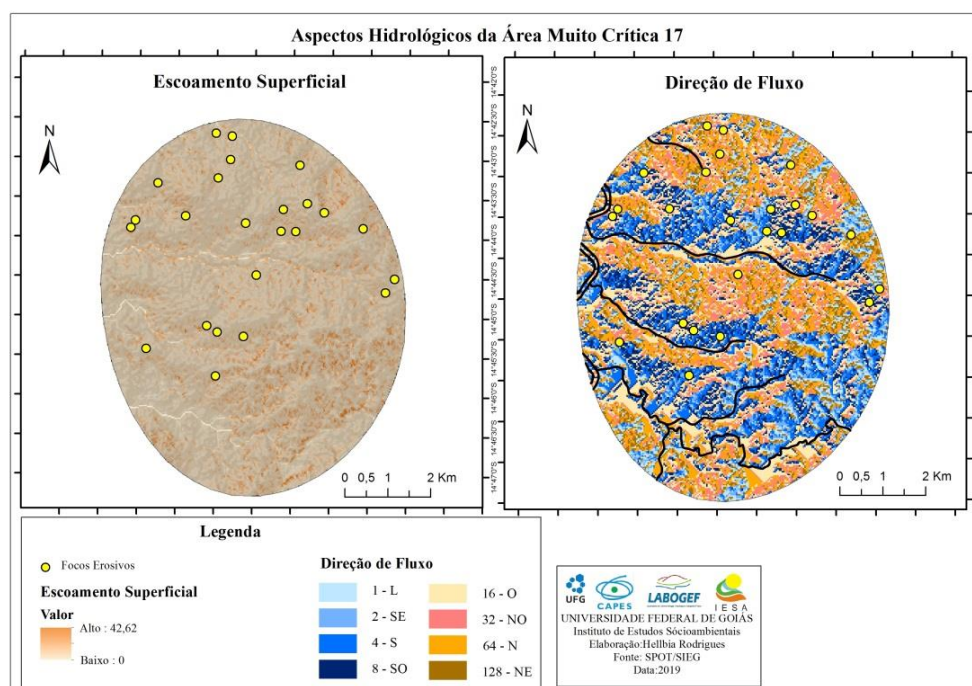


Figura 60. Aspectos hidrológicos da AMC 17.

Diante desses resultados é possível observar que mesmo em relevo pouco movimentado, a direção de fluxo do escoamento superficial está relacionado aos focos erosivos. No entanto, mesmo em áreas onde não há declividade maior para promover a energia suficiente para promover o fluxo, ainda assim há ocorrência de focos, o que evidencia a necessidade de avaliar um maior de variáveis a serem inter-relacionadas para melhorar a compreensão dos indicadores da ocorrência dos focos erosivos.

6.5. Indicadores Condicionantes da Ocorrência de Processos Erosivos nas Áreas Muito Críticas

Na análise da ocorrência de processos erosivos realizada no presente estudo, a compartimentação morfo-pedológica se mostrou eficiente para a identificação e entendimento

da distribuição e concentração (densidade) dos focos erosivos lineares, assim como para cada compartimento, na escala de semidetalhe adotada.

Foram identificadas 22 áreas críticas e classificadas quanto sua criticidade, dentre as quais foram selecionadas duas áreas amostrais que possuem localizações distintas e foram classificadas como muito críticas (AMC 1 e 17).

Na compartimentação a relação entre os dados de geologia da área quanto seus litotipos predominantes, as altitudes o relevo quanto suas unidades geomorfológicas, declividade, hipsometria, além dos principais tipos de solos ou mesmo as associações de solos existentes e suas texturas, possibilitaram diferenciar os compartimentos, contribuindo para distingui-los uns dos outros. Ao cruzar essas variáveis com os focos erosivos mapeados, bem como com a densidade, foi possível identificar comportamentos específicos de determinadas unidades de paisagem.

A AMC 1, localizada ao Sul do Estado, apresentou unidades de paisagem identificadas como CMP, que ao cruzá-los com os focos erosivos e densidade de focos permitiram destacar o CMP III como o de maior densidade de focos. As características físicas principais são os Arenitos como principais litotipos, associações de solos Latossolos Vermelho distrófico típico, textura média, mais Neossolos Quartzarênicos, com um ambiente de pouca variação de declividade predominando a variação de 0 – 12% e hipsometria de 564 – 873m.

No estudo evidenciou-se que a compartimentação se mostrou eficiente na correlação e estudo dos condicionantes aos processos erosivos e pode ter apontado como um indicador é importante por trazer consigo os importantes aspectos geoambientais da paisagem. No entanto, por mais e semelhantes as características das unidades de paisagem (os CMP) elas não são idênticas e necessitam de aprofundamento do estudo para incluir outras variáveis que também podem estar condicionando a erosão.

Na AMC 17 foram delimitados dois compartimentos morfopedológicos, que ao realizar o inter cruzamento com os focos erosivos assim como com a densidade de focos foi observado que o CMP I se destacou como o que concentra o maior número de focos. As características físicas desse compartimento mostraram predomínio de Metassilticos em um ambiente variável quanto à declividade e hipsometria, com associação de Latossolos Vermelho-Amarelo, de textura média a argilosa, mais Cambissolos Háptico de textura média a cascalhenta, mais Plintossolos Pétricos também de textura média a cascalhenta, dominado pela Superfície Regional de Aplainamento (SRA) III, com uma variação na declividade de 2,5 a > 30,8% e cotas hipsométricas que variam de 498 – 572m.

No CMP I como um todo, o ambiente apresenta aspectos de suscetibilidade à erosão, por possuir rochas sedimentares mais suscetíveis associadas a solos de textura média a cascalhenta e relevo de elevada erodibilidade e relevo que favorece a concentração de fluxos e um aumento de escoamento superficial.

Nesse sentido, a erodibilidade dos solos constitui-se como indicador importante para identificação das áreas mais suscetíveis diante da sua textura e estrutura. No entanto, há áreas que possuem alta densidade de focos erosivos e não se localizam em solos de alta erodibilidade, como no caso da AMC 17, diferente da AMC1, onde os solos apresentam muito alta erodibilidade.

O mesmo ocorre para as chuvas erosivas que se constituem como indicador importante para o entendimento da dinâmica da erosão hídrica linear. Os dados obtidos evidenciam que os maiores índices de erosividade coincidem com as áreas de maior ocorrência de focos erosivos. No entanto, essas áreas críticas se comparadas às demais não estão nas áreas de maior índice erosivo do Estado, o que evidencia que há outros fatores além da erosividade condicionando o processo erosivo.

Os dados morfométricos de direção de fluxo e escoamento superficial deixaram a desejar por necessitar de ampliação das variáveis pra identificar o modelo que informe a constituição morfométrica das áreas de ocorrência de focos erosivos, sobretudo diante de relevo de pouca movimentação e necessidade ampliar a escala para avaliar as áreas de maior criticidade.

Para a cobertura vegetal, importante para manutenção dos solos, dos recursos hídricos, além da importância filogenética que possui, os dados do Uso ocupação e remanescentes do Cerrado, evidenciaram um impacto de fragmentação importante para as duas áreas amostrais, pois que se concentra nas áreas de preservação permanente (APP) de canais de drenagem, estando dispersa e com poucos fragmentos de formações de Cerrado nos demais setores de usos, sobretudo no de pastagem, que domina largamente as duas áreas amostrais.

Como indicadores atribuídos às características geoambientais, os resultados vêm de encontro com os condicionantes amplamente conhecidos do processo erosivo hídrico na literatura, como de solos, clima, topografia, vegetação e uso do solo. Assim, o indicador relacionado á atividade humana permitiu identificar o amplo uso com pastagem, e os trilheiros associados à grade maioria dos focos mapeados.

Diante de todo o estudo é possível ponderar as variáveis apresentadas com seus respectivos pesos de 0 a 5 como condicionantes dos processos erosivos hídricos lineares identificados, mas que variam para cada área.

Para a AMC 1 a variável de maior peso foi atribuído à atividade humana (Uso das terras (Peso-5); seguida da Erodibilidade (Peso 5)); características dos Compartimentos morfopedológicos (Peso-4)); Cobertura Vegetal (Peso 4)) e Erosividade (Peso 2)).

Na AMC 1 predomina a atividade de pastagem com elevado número de focos erosivos associados a trilheiros, no entanto, corroborados pelos solos de muito alta erodibilidade, assim como litotipos e geomorfologia propícios a ocorrência de erosão hídrica linear.

Na AMC 17 a variável de maior peso foi também a atividade humana- Uso das terras (Peso-5); seguida pelos aspectos físicos dos Compartimentos morfopedológicos (Peso-4)), (Cobertura Vegetal (Peso 4)); Erodibilidade (Peso 2)); Erosividade (Peso 2).

A pressão do uso ocupação para com os remanescentes de Cerrado, assim como a alta associação de trilheiros , por predomínio de uso ocupação para pastagem, com os focos erosivos evidencia o manejo inadequado do solo e do próprio gado acarretando ampliação de tamanho dos focos, aumento da perda de solos e de nutrientes, podendo expor paulatinamente à degradação de canais de drenagem por assoreamento.

CONCLUSÃO

Nesta pesquisa foi trabalhada a temática da erosão hídrica linear no estado de Goiás e Distrito Federal, visando entender como se distribuem os focos erosivos nesse território, assim como, quais os condicionantes predominam. O estado de Goiás foi uma área que instigou a realização da pesquisa por ser apontada na economia e na ciência como um celeiro de produção de grãos e carne, para abastecimento mundial. E para tanto um dos principais recursos para a produção é o solo, sendo este um recuso sujeito à degradação, na qual a erosão hídrica é considerada uma das principais.

A erosão hídrica linear promove grandes perdas de solos, sendo considerada um tipo de degradação complexa. Diante a complexidade o estudo demanda a abordagem de diversas variáveis fundamentais, que influenciam na ocorrência, tais como o clima no que tange as chuvas erosivas e os processos intemperismo, o relevo na morfologia da paisagem, a estrutura física do solo, o disciplinamento hídrico da água, o uso no manejo adequado a aptidão de cada solo em suas especificidades.

Nos mapeamentos buscou-se compreender os condicionantes na área que influenciam na ocorrência de focos erosivos lineares. O mapeamento dos focos realizado possibilitou a identificação da distribuição das erosões em todo o estado de Goiás e Distrito Federal,

sobretudo diante a produção da isodensidade, que colocou em evidencia as áreas críticas de ocorrência de focos erosivos.

Para uma análise aprofundada foi necessário identificar os condicionantes erosivos hídricos em uma escala estadual, para posterior estudar em escala local. No estudo da escala local foram utilizadas as áreas consideradas críticas, e para as quais os dados foram submetidos a um processo de refinamento trabalhados com base em modelo digital de terreno, relevo, hipsometria, para elucidar bem os limites entre as classes pré-existente que posteriormente foram reconfiguradas chegando a um detalhamento.

Todo o mapeamento assim como a análise foi favorecido pela bibliografia disponível à temática, assim como o suporte geotecnológico (SIG) que possibilitou o tratamento e produção de dados, cruzamento de informações, instrumentalizou na obtenção dos resultados da pesquisa.

Ao identificar que havia áreas de maior ocorrência de focos erosivos lineares, buscou-se o detalhamento e a identificação dos principais condicionantes, sendo amplamente estudados para se chegar ao entendimento das variáveis que propiciam a ocorrência, e dada a extensão da área de estudo foi necessário a contribuição de áreas de ambientes distantes para correlacionar se os condicionantes possuem semelhanças geomambientais.

A hipótese levantada não limitou-se às variáveis físicas, por se tratar de um território de amplo uso e ocupação das terras para produção primária, e possuindo vegetação remanescente do bioma Cerrado, considerado mundialmente importante por sua ampla biodiversidade, que passa por um processo histórico e impactos de fragmentação diante a expansão das áreas de produção agropecuária.

Constatou-se no estudo que os problemas erosivos linear no estado de Goiás são amplos, não somente pela dimensão do território se correlacionado ao Distrito Federal, mas pelo manejo desenvolvido nas terras destinadas ao uso ocupação. A variável de uso ocupação predomina nas áreas consideradas críticas ou mesmo as de alta suscetibilidade a erosão, e o principal tipo de uso ligado aos focos erosivos é a pastagem, com manejo inadequado, constituindo inúmeros trilheiros que por sua vez associados aos aspectos físicos como solos frágeis (Neossolos Quartzarênico) ou mesmo solos de textura média a arenosa, são áreas que constituem-se como o principal cenário para ocorrência de focos erosivo linear.

A metodologia fundamentada na análise multiescalar e multitemática, considerando os condicionantes do processo erosivo como variáveis, revelou-se bastante satisfatória. O mapeamento dos focos erosivos com imagens de alta resolução constituindo mapa de pontos, mostrou-se essencial para a compreensão do fenômeno, bem como das densidade de pontos,

sem o que não seria possível identificar as áreas críticas. A estratégia de cruzamento das áreas críticas com os condicionantes do processo erosivo, permitiu elencar os indicadores do processo.

Constatou-se que a distribuição de focos erosivos não é uniforme no estado de Goiás, pois concentra-se em 22 áreas cuja muito crítica de maior extensão é a do Sudoeste Goiano, as demais são menores. A classificação de criticidade variou de muito críticas a crítica.

As áreas mais críticas associam-se à maior erodibilidade dos solos, ao uso com pastagem e à maior fragmentação da cobertura vegetal original. Nelas, a Compartimentação Morfopedológica auxiliou nas identificações das unidades de paisagem e suas principais características geoambientais condicionantes do processo erosivo nas áreas amostrais.

Por outro lado, foi necessário atribuir pesos diferentes para as áreas amostrais (AMC 1 e 17) para reconhecer os indicadores do processo, devido suas características geoambientais diferentes. A diferenciação de pesos contemplou as demais variáveis, como erosividade, erodibilidade e morfometria do relevo.

Nas duas áreas a variável preponderante é a atividade humana relativa ao uso do solo, em que se destacou a pastagem ocupando extensas áreas, com pequenos e irregulares fragmentos de vegetação remanescente, mas com inúmeros trilheiros direcionados aos canais de drenagem e associados aos focos erosivos mapeados.

É possível afirmar que 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.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J. A.; ALMEIDA, A. de.; GATIBONI, L. C.; ROVEDDER, A. P.; COSTA, F. de S. Fragilidade de solos: uma análise conceitual, ocorrência e importância agrícola para o Brasil. In: CASTRO, S. S. de.; HERNANI, L. C. (Org.) Solos frágeis: caracterização, manejo e sustentabilidade. Embrapa. Brasília – Distrito Federal, 2015.

ALMEIDA FILHO, G. S. de.; RISDENTE JÚNIOR, J. L. (Mini-curso I) Diagnóstico, prognóstico e controle de erosão. In: VII Simpósio nacional de controle de erosão. Associação brasileira de geologia e engenharia ambiental. Goiânia –GO, 2001.

ALMEIDA, B. G. de.; VIANA, J. H. M.; TEIXEIRA, W. G.; GUILHERME, K. D. Densidade do solo. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Org.) Manual de métodos de análise de solo. 3ª ed. Embrapa, Brasília, Distrito Federal, 2017.

ALMEIDA, L. Q. de. Por uma ciência dos riscos e vulnerabilidades na geografia. MERCATOR – Revista de Geografia da UFC, v10, nº, 23. Fortaleza, Brasil, 2011, p83-99.

BACA, J. F. M.; NETO, A. L. C.; MENEZES, P. M. L. de. Modelagem da dinâmica da paisagem com processos de MARKOV. In: Meirelles, M. S. P.; CAMARA, G.; ALMEIRDA, C.M. de. (Org.) Geomática – modelos e aplicações ambientais. Embrapa, Distrito Federal, 2007.

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.

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.

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. 13º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. 2014.

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.

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.

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, 32:2443-2460, 2008.

- BERNALDEZ, F. P. Ecologia y paisaje. H. Blume Ediciones, Madrid- España.1981.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. Ed. Ícone, ed. 7. São Paulo, 2010.
- BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física global. Esboço metodológico. R. RA'E GA, - UFPR, n.8. CURITIBA, 2004, p.141-152.
- BESSE, J. Ver a Terra: Seis ensaios sobre a paisagem e a Geografia. Tradução: Vladimir Bartalini. (Org.) GUINSBURG, J. Coleção Estudos. São Paulo: Perspectiva, 2006. 203p.
- BETTINI, C. Conceitos básicos de geoestatística. In: Meirelles, M. S. P.; CAMARA, G.; ALMEIRDA, C.M. de. (Org.) Geomática – modelos e aplicações ambientais. Embrapa, Distrito Federal, 2007.
- BIGARELLA, J. J. Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. 2.ed. UFSC, Florianópolis, 2007.
- BLANCO, H.; LAL. R. Principles of soil conservation and management. Hays, KS: Springer, 2008, p.626.
- BLOISE, G. de L. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. de; REATTO, A.; GUIMARÃES, R. F.; MARTINS, E. de S.; CARVALHO, A. P. F. de. Avaliação da suscetibilidade natural à erosão dos solos da bacia do Olaria-DF. Boletim de pesquisa e desenvolvimento 14. Embrapa Cerrados, Planaltina, 2001, p.33.
- BORDMAN, J. Soil erosion Science: Reflections on the limitations of current approaches. Catena, 68, 2006, p.73-86.
- 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, 8(1):2013.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. Elementos da natureza e propriedades dos solos. Tradução: LEPSCH, I. F. Bookman. Porto Alegre, 2013, p.551-589.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - MMA. Mapeamento do uso e cobertura do Cerrado: Projeto TerraClassCerrado. MMA. Brasília, 2015.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - MMA. Plano nacional de recursos hídricos. Síntese executiva. Brasília, 2006.
- BRASIL. Lei No 12.651 de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial [da] União, Casa Civil, Brasília, DF, 28 maio 2012. Disponível em: <<http://w.w.w.planalto.gov.br>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

BRASIL. Lei Nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº7.990, de 28 de dezembro de 1989. Presidência da República, Casa Civil, Brasília, DF, 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433 Acesso em: Dezembro de 2017.

BRITO, M. C. de.; FERREIRA, C. de C. M. Paisagem e as diferentes abordagens geográficas. *Revista de Geografia – PPGeo*, v.2, nº1. Juiz de Fora, 2011, p. 1-10.

BRUM, A. J. Modernização da agricultura – trigo e soja. Petrópolis: Ed. Vozes, 1988.

CABACINHA, C. D.; CASTRO, S. S. de. Estrutura diamétrica e estado de conservação de fragmentos florestais no Cerrado Brasileiro. *Floresta e Ambiente*, v.17. 2011, p.51-62.

CABACINHA, C. D.; CASTRO, S. S.; GONÇALVES, D.A. 3Análise da estrutura da paisagem da alta bacia do rio Araguaia na Savana brasileira. *FLORESTA*, Curitiba, PR, v. 40, n. 4, p. 675-690, out./dez. 2010.

CAILLEUX, A.; TRICART, J. Le problème de la classification des faits géomorphologiques. *Annales de Géographie*, v. 65, n. 349, p. 162-186, 1956.

CAMPOS, M. C. C. Relações solo-paisagem: conceitos, evolução e aplicações. *Ambiência Guarapuava*, v.8 n.3. Paraná, p.963-982, 2012.

CAMPOS, J. E. G.; DARDENNE, M. A.; FREITAS-SILVA, F. H; MARTINS-FERREIRA, M. A. C. Geologia do grupo Paranoá na porção externa da Faixa Brasília. *Braz. J. Geol.* V.43. São Paulo, p. 461 -476, 2013.

CAMAPUM DE CARVALHO, J.; SALES, M. M.; SOUZA, N. M.; MELO, M.T.S. (Org.). *Processos Erosivos no CentroOeste Brasileiro*. 1. ed. Brasília: FINATEC, 2006. 464p.

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.

CARVALHO, F. M.V.; MARCO JÚNIOR, P. de.; FERREIRA, L. G. The Cerrado into-pieces: Habitat fragmentation as a function of landscape use in the savanas of central Brazil. *ELSEVIER, Biological Consercation*, p. 1392-1403, 2009.

CARVALHO, J. C. de.; SALES, M.; MORTARI, D.; FÁZIO, J. A.; MOTTA, N. O. da.; FRANCISCO, R. A. *Processos Erosivos*. In: CARVALHO, J. C. de.; SALES, M. M.; SOUZA, N. M. de.; MELO, M. T. da S. (Org.) *Processos erosivos no centro-oeste brasileiro*. FINATEC, Brasília, 2006.

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.

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.

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.

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.

CASTRO, S. S.; SALOMÃO, F. X. T. Compartimentação morfopedológica e sua aplicação: considerações metodológicas. São Paulo: Departamento de Geografia, faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, USP. *Humanitas*, n°7, p.27-37, 2000.

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).

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.

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.

CAVALCANTI, L. C. de S. *Cartografia de paisagens: fundamentos*. Oficina de textos, São Paulo, 2014.

CAVALCANTI, L. C. de S.; CORRÊA, A. C. de B. *Geossistemas e Geografia no Brasil*. R. Brasileira de Geografia. Rio Janeiro. V. 61, n. 2, 2016.

CENTENO, J.A.S. *Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens Digitais*. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2009.

CHIOSSI, N. *Geologia de Engenharia*. 3ª Ed. Of.de Textos, 2013.

CHRISTIAN, C. S. The concept of land units and land systems. In: *Proc. Pacific Sci. Cong.*, 9th, 1958, *Annals...* p. 74-81, 1958.

CHRISTIAN, C. S. The concept of land units and land systems (1958). In: WIENS, J. A.; MOSS, M. R.; TURNER, M.G.; MLADENOFF, D. J. (Org.) *Foundation papers in landscape ecology*. Columbia University Press, New York, 2006.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. Edgard Blücher, 2ª ed. São Paulo, 1980.
Conservationist planning of degraded cultivated Brazilian pastures. *Land Degradation & Development*, v.27. 2016, p.773 – 784.

COELHO, R. V.; SOUZA, S. B. de. Aplicação de estatística espacial para modelagem dos padrões espaciais da pecuária no estado de Goiás. XVIII Encontro Nacional de Geógrafos. São Luís – Maranhão, 2016.

CORREIA, J. R.; HARIDASAN, M.; REATTO, A.; MARTINS, E. de S.; WALTER, B. M. T. Influência de fatores edáficos na distribuição de espécies arbóreas em matas de galeria na região do cerrado: uma revisão In.: RIBEIRO, J. F.; FONSECA, E. L. da.; SOUZA-SILVA, J. C. (Org.) *Cerrado: Caracterização e Recuperação de Matas de Galeria*. Planaltina – Distrito Federal, 2001.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. *Geologia do Estado de Goiás e Distrito Federal*. Escala 1:500.000. CPRM/SIC-FUNMINERAL. In: MOREIRA, M. L. O.; MORETON, L. C.; ARAÚJO, V. A. de.; LACERDA FILHO, J. V. de.; COSTA, H. F. Goiânia, 2008.

DAEE/IPT – Secretaria de Energia e Saneamento. Departamento de Águas e Energia Elétrica. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. *Controle de erosão: bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientação para o controle de boçorocas urbanas*. DAEE/IPT, 2ªed. 1989, p-92.

DESPRATS, J. F.; RACLOT, M.; ROUSSEAU, M.; CERDAN, O.; GARCIN, M., LE BISSONNAIS, Y.; BEN SLIMANE, A.; FOUCHE, J.; MONFORT- CLIMENT, D. Mapping linear erosion features using high and very high resolution satellite imagery. *Land degradation & Development*. 2013, p.22-32.

DINÍZ, N. C. Avaliação de terrenos quanto à suscetibilidade à erosão. (Org.) CARVALHO, J. C. de.; SALES, M. M.; SOUZA, N. M.; MELO, T. da S. Universidade Federal de Brasília – FINATEC. Brasília, 2006.

DESPRATS, J. F.; RACLOT, M.; ROUSSEAU, M.; CERDAN, O.; GARCIN, M., LE BISSONNAIS, Y.; BEN SLIMANE, A.; FOUCHE, J.; MONFORT- CLIMENT, D. Mapping linear erosion features using high and very high resolution satellite imagery. *Land degradation & Development*. 2013, p.22-32.

DONAGEMMA, G. K.; VIANA, J. H. M.; ALMEIDA, B. G. de.; RUIZ, H. A.; KLEIN, V. A.; DECHEN, S. C. F.; FERNANDES, R. B. A. *Análise granulométrica*. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Org.) *Manual de métodos de análise de solo*. 3ª ed. Embrapa, Brasília, Distrito Federal, 2017.

DURCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. *Análise espacial de dados geográficos*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Planaltina – Distrito Federal, 2004.

EMATER – Agência Goiana de Assistência Técnica, Extensão Rural e Pesquisa Agropecuária. Refinamento do mapeamento de solos para escala de 1:250.000, 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos, 3ª Ed. Brasília: Embrapa Solos. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2018.

Esri Inc. ArcMap (versão 10.x). Redlands, Estados Unidos, 2016.

ESTEVAM, L. O tempo da transformação: estrutura e dinâmica da formação econômica de Goiás. Ed. 2ª, UCG. Goiânia – GO, 2004.

FARIA, K. M. S. de. Caracterização dos remanescentes de Cerrado e suas relações com o uso e ocupação das terras da Alta bacia do rio Araguaia. 2006, p177. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Estudos Sócio-ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006.

FARIA, K. M. S. de.; CASTRO, S. S. de. Análise da Evolução da Fragmentação da Paisagem com uso de Geotecnologias na Sub-Bacia do Rio Claro, entre 1990 e 2008, Brasil Central. IV Seminário Latino-Americano de Geografia Física – II Seminário Ibero-Americano de Geografia Física. Universidade de Coimbra, Portugal 2010.

FARIA, K. M. S. de.; SIQUEIRA, M, N.; CARNEIRO, G. T.; CASTRO, S. S. de. Análise geocológica da conservação ambiental das sub-bacias do rio Claro (GO), e rio Garças (MT). I Seminário Nacional de Geoecologia e Planejamento Territorial e IV Seminário do GEOPLAN. Universidade Federal de Sergipe, 2012.

FARIA, K.M. S de. Processos Erosivos Lineares No Município De Goiânia In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2008, Viçosa. Anais. Viçosa: 2008.

FARINASSO, M.; CARVALHO JÚNIOR, O. B. de.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; RAMOS, V. M. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes área por meio da EUPS – Equação Universal de Perdas de Solos Utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba – PI-MA. Revista de Geomorfologia, n2. 2006, p. 73-85.

FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P.; SILVA, F. L. da; CHAN, B. L. Análise de dados: Modelagem multivariada para tomada de decisão. Elsevier, Rio de Janeiro, 2009.

FAVIS-MORTLOCK, D. Erosion by Water: Accelerated. In In book: Encyclopedia of Soil Science Publisher: Marcel Dekker, New York Ed: Rattan Lal Project: Soil erosion. 2012 p.1-6.

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. Goiânia, 2007, p.83-96.

FITZ, P. R. Geoprocessamento sem complicação. Oficina de Textos, São Paulo, 2008.

FLORENZANO, T. G. Interpretação de imagens. INPE, 2011. Disponível em: http://www.dsr.inpe.br/vcsr/files/Interpreta_UsoEscolar-2011.pdf. Acesso em: fevereiro de 2017.

FLORENZANO, T. G. Sensoriamento remoto para geomorfologia In: FLORENZANO, T. G. (Org.) Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. Oficina de Textos, São Paulo, 2008.

FONTANA, A. Matéria orgânica. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Org.) Manual de métodos de análise de solo. 3ª ed. Embrapa, Brasília, Distrito Federal, 2017.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - (FAO). Status of the World's Soil Resources 2015. Disponível em www.fao.org/puplications. Acesso em: dez. de 2015.

FREITAS, R. O. Textura de drenagem e sua aplicação geomorfológica. Boletim Paulista de Geografia, v. 11, p. 53-57, 1952.

GALDINO, S. Distribuição espacial da erosividade da chuva no estado de Goiás e Distrito Federal. Embrapa monitoramento por satélite. Campinas – São Paulo, 2015.

GALDINO, S.; SANO, E. E.; ANDRADE, R. G.; GREGO, C. R.; NOGUEIRA, S. F.; BRAGANTINI, C.; FLOSI, A. H. G. Large-scale modeling of soil erosion with rusle for Conservationist planning of degraded cultivated Brazilian pastures. Land Degradation & Development, v.27. 2016, p.773 – 784.

GARCIA, F. L. M. R. Análise de componentes principais e escalonamento multidimensional: Duas classes de métodos multivariados de redução de dimensionalidade. 2015. (Projeto Final de Conclusão de Curso) Departamento de Métodos Estatísticos do Instituto de Matemática – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2015.

GARY, N. Sedimentology and stratigraphy. Library of congress cataloging-in-publication data – Wiley – Blachkwell. 2 nd, 2009.

GOOGLE EARTH. Imagem de satélite do Estado de Goiás. Captura de tela do Google Earth Pro. Earth, versão 7.3.6, 2019.

GOMES, H. e TEIXEIRA NETO, A. Geografia de Goiás/Tocantins. Centro Editorial e Gráfico. Goiânia, UFG,1993.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Org.). Erosão e conservação dos solos – Conceitos, temas e aplicações. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 1999, p.340.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. Novo dicionário geológico-geomorfológico. Bertrand Brasil, 3ª ed. Rio de Janeiro, 2003, p-652.

GUIMARÃES, M. E. R.; HOLANDA, F. S. R.; ROCHA, I. P. da.; ARAUJO FILHO, R. N. de.; VIEIRA, T. R. S. Indicadores Ambientais para o estudo da erosão marginal no rio São Francisco. Revista Caminhos da Geografia, V.11, nº. 2010, p.75-83.

HERMUCHE, P. M., GUIMARÃES, G. M. A.; CASTRO, S. S. Análise dos compartimentos morfopedológicos como subsídio ao planejamento do uso do solo em Jataí – Goiás. GEOUSP – Espaço e Tempo, São Paulo, nº26, 2009, p.113-131.

HOGAN, D. J.; AZEVEDO, A. M. M.; CARMO, R.L.; GAMA, I.; DARCIE, C; DELGADO, C. C. Um breve Perfil Ambiental da Região Centro-Oeste. In: Daniel Joseph Hogan et al (Org.). Migração e Ambiente no Centro-Oeste. Campinas, SP: MPC Artes Gráficas em Papel, 2002b, p. 175-276.

HOGAN, D. J.; CUNHA, J.M. P.; CARMO, R.L. Uso do Solo e Mudanças de sua Cobertura no Centro-Oeste do Brasil: consequências demográficas, sociais e ambientais. In: Daniel Joseph Hogan et al (Org.). Migração e Ambiente no Centro-Oeste: , 2002a, p. 149-174.

HUDSON, N. W. The factors determining the extent of soil erosion. In: GREENLAND, D. J.; LAL, R. Soil conservation and management in the humid tropics. John Wiley & Sons. Chichester/New York/Brisbane/ Toronto. 1979.

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.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico de uso da terra. Manuais técnicos em Geociências. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://mapas.ibge.gov.br/tematicos/solos>. Acesso em: Julho de 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. Acesso em: 14 jan. 2023.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. Orientações para o combate à erosão no estado de São Paulo: Bacia do Pardo Grande. V.3, 1990.

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, São Paulo, 1986.

IPT; METAIS DE GOIÁS (1998) 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 36. 904, 90p.

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.

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.

- LABRIÈRE, N., LOCATELLI, B., LAUMONIER, Y., FREYCON, V.;BERNOUX, M. Soil erosion in the humid tropics: A systematic quantitative review. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 203 (2015) 127–139.
- LACERDA FILHO, J. V. de.; FRASCA, A. A. S. Compartimentação Geotectônica. In: MOREIRA, M. L. O.; MORETO, L. C. ARAÚJO, V. A. de. LACERDA FILHO, J. V. de.; COSTA, H. F. CPRM/SIC –FUNMINERAL. (Org.) *Geologia do Estado de Goiás e Distrito Federal*. Goiânia-Goiás, 2008.
- 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. 2ª ed. CPRM/METAGO/UNB. (Org.) *Geologia e Recursos Minerais do Estado de Goiás e do Distrito Federal*. Goiânia-Goiás, 2000.
- 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.
- LEPSCH, I. F. *Formação e Conservação dos Solos*. 1ª Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.
- 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.
- KAGEYAMA, A. et al. 1990. O novo padrão agrícola brasileiro: do complexo rural aos complexos agroindustriais. In: WALTER, Belik et al. 1990. *Agricultura e Políticas Públicas*. Brasília: Série IPEA, n.º 127. p. 113-222.
- 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. São Paulo, 1995.
- MACÊDO, I. L.; SOUZA, N. M. de.; CAMPAGNOLI, F. Utilização de modelos de previsão de erosão/assoreamento para avaliação de massas numa bacia Hidrográfica. In: *Processos erosivos no Centro-Oeste brasileiro*. (Org.) CARVALHO, J. C. de.; SALES, M. M.; SOUZA, N. M.; MELO, T. da S. Universidade Federal de Brasília – FINATEC. Brasília, 2006.
- MACHADO, F.B.; MOREIRA, C.A.; ZANARDO, A; ANDRE, A.C.;GODOY, A.M.; FERREIRA, J. A.; GALEMBECK, T.; NARDY, A.J.R.; ARTUR, A.C.; OLIVEIRA, M.A.F.de. *Atlas de Rochas*. [on-line]. ISBN: 85-89082-12-1.Disponível na Internet via WWW. URL: <http://www.rc.unesp.br/museudpm>. Arquivo capturado em setembro de 2017.
- MARIA, I.C.de. *Geotecnologias e modelos aplicados ao manejo e conservação do solo e da água*. In: PRADO, R. B.; TURETA, A. P. D.; ANDRADE, A. G. de. (Org.) *Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais*. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 2010.

MARINHO, G. V. Caracterização físico-hídrica e da suscetibilidade erosiva linear dos solos da sub-bacia do córrego Queixada, na alta bacia do rio Araguaia. Dissertação de mestrado (Programa de pós-graduação em Geografia) Universidade Federal de Goiás. Goiânia – Goiás, 2003.

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.

MARQUES, L. Capitalismo e colapso ambiental. 3º ed. Ed. UNICAMP, 2018.

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.

MARTINELLI, M.; PEDROTTI, F. A cartografia das unidades de paisagem: questões metodológicas. *Revista do departamento de geografia USP*, n.14. São Paulo, 2001, p.39-46.

MARTINS, E. de S.; REATTO, A.; CORREIA, J. R. Fatores ambientais que controlam matas de galeria no bioma Cerrado: exemplos e hipóteses. In.: RIBEIRO, J. F.; FONSECA, E. L. da.; SOUZA-SILVA, J. C. (Org.) *Cerrado: Caracterização e Recuperação de Matas de Galeria*. Planaltina - Distrito Federal, 2001.

MARTINS, E. O.; SOUZA, N. M. de; SALES, M. M.; NASCIMENTO, M. A. L. S. do.; OLIVEIRA, M. de F. M. Cadastro de Erosões. In: CARVALHO, J. C. de; SALES, M. M.; SOUZA, N. M. de.; MELO, M. T. da S. (Org.) *Processos erosivos no Centro-Oeste Brasileiro*. FINATEC. Universidade de Brasília – Brasília. 2006.

MARTINS, J. de S. *Fronteira e Degradação do Outro nos confins do humano*. ed HUCITEC. São Paulo, 1997.

MCGARIGAL, K.; MARKS, B. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure. [S.l.]: US Dept. of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 1995.

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.

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.

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, 115, 2006.

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.

MORGAN, R. P. C. Soil erosion and conservation. Third edition. Blakwell publishing. Oxford U. K. 2005. 316p.

NASCIMENTO, M. A. L. S. Erosões Urbanas em Goiânia. Boletim Goiano de Geografia, v. 14, n., p. 77-101, 1994.

NEWMAN, D. R.; LINDSAY. J. B.; COCKBURN. Evaluating metrics of local topographic position for multiscale geomorphometric analysis. *Geomorphology*. 2018, p.40-50.

NUNES, D. E.; CASTRO, S. S. de. Compartimentação morfopedológica aplicada à distribuição de padrões espaciais de processos erosivos em solos frágeis – Município de Mineiros, GO. In: Solos Frágeis: caracterização, manejo e sustentabilidade. (Org.) CASTRO, S. S. de. HERNANI, L. C. Embrapa, Brasília, DF, 2015.

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.

OLIVEIRA, A. M. dos S. O.; SALOMÃO, F. X. de T.; DONZELI, L. P.; ROCHA, G. A.; FILHO, M. V. Questões metodológicas em diagnósticos regionais de erosão: A experiência pioneira da bacia do Peixe Paranapanema – SP. – Anais – 4º Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Marília, São Paulo, 1987, p.51-71.

OLIVEIRA, J. B. de. Pedologia aplicada. 3 ed. FEALQ. Piracicaba, 2008.

OLIVEIRA, M. Z. de.; VERONEZ, M. R.; TURANI, M. REINHARDT, A. O. Imagens do Google Earth para fins de planejamento ambiental: uma análise de exatidão para o município de São Leopoldo/RS. – Anais – XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. INPE. Natal, Brasil. 2009, p1835-1842.

OLIVEIRA, V. A. de. Estado de Goiás e Distrito Federal - Pedologia. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2014.

OLIVEIRA, V. C. Suscetibilidade e risco à erosão laminar no setor sul do alto curso da bacia do rio Araguaia (GO/MT): Discussão metodológica e proposta de avaliação espacial. 2004. 144p. Tese de Doutorado (Programa de pós-graduação em Geografia) Universidade Federal de Goiás. Goiânia – Goiás, 2004.

PEDROSA, B. M.; CAMARA, G. Modelagem dinâmica e sistemas de informações geográficas. In: Meirelles, M. S. P.; CAMARA, G.; ALMEIRDA, C.M. de. (Org.) Geomática – modelos e aplicações ambientais. Embrapa, Distrito Federal, 2007.

PENNOCK, D. Soil Erosion: The greatest challenge for sustainable soil management. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Soil erosion the greatest challenge for sustainable soil management. Rome, 2019.

PIMENTEL, D.; BURGESS, M. A erosão do solo ameaça a produção de alimentos. *Agriculture*, v. 3. Nova York – EUA, 2013, p.443-463.

PNUMA-CIAT. Marco conceptual para el desarrollo y uso de indicadores ambientales y de sustentabilidad para toma de decisiones em Latinoamérica y el Caribe. México. D.F. 1996, p. 14-16.

POLITANO, W.; PIÇARRA, T.C. T. Avaliação por fotointerpretação das áreas de abrangência dos diferentes estados da erosão acelerada do solo em canaviais e pomares de citros. Eng. Agríc. Jaboticabal, v.25, n.1, p.242-252, jan./abr. 2005.

PONCIANO, T. A.; FARIA, K. M.; SIQUEIRA, M. N.; CASTRO, S. S. de. Fragmentação da cobertura vegetal e estado das Áreas de Preservação Permanente de canais de drenagem no município de Mineiros, Estado de Goiás. *Ambiência*, v. 11, n. 3. Guarapuava – Paraná, 2015, p.545 – 561.

PONCIANO, T. A.; RODRIGUES, H. S. M. de.; FARIA, K. M.; Abordagem morfopedológica para avaliação histórica da estrutura da paisagem no Vão do Paranã (GO). *Ateliê Geográfico*, v13, n.2. Goiânia, 2019, p. 111-127.

PRUSKI, F. F. Conservação do solo e água: práticas mecânicas para controle da erosão hídrica. 2º ed, UFV. Viçosa, 2009.

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. Embrapa. Brasília, DF. 2008.

REIS, S. L. da S.; PERTILE, N. O MATOPIBA: a modernidade e a colonialidade do desenvolvimento agrícola brasileiro. *Revista NERA*, v. 22, n.47. Presidente Prudente, 2019, p.64-66.

REZENDE, A. de. Estudo do processo de voçorocamento na bacia do córrego Capivara, alta bacia do rio Araguaia, em Mineiros (GO). 2003. Dissertação de Mestrado. (Programa de Pós-graduação em Geografia / Instituto de Estudos Sócio-ambientais) – Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2003.

ROSA, E.R.; ZANCOPÉ, M.H. de C.; BAYER, M. Caracterizado litológico-geomorfológica da área do sistema fluviocárstico 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.

RODRIGUES, H. S. M. C. de. Uso do solo nas áreas de preservação permanente do setor sul da alta bacia do rio Araguaia-GO/MT. 2010. Monografia (Bacharel em Análise Ambiental-Geografia) – Instituto de Estudos Sócio-ambientais. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

RODRIGUES, H. S. M. de C.; CASTRO, S. S. de. Compartimentação morfopedológica da Microrregião do Vale do rio dos Bois – GO. XV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Vitória – ES, 2013.

ROMERO, V. MARCUZZO, F. F. N. CARDOSO, M. R. D. Tendência do número de dias de chuva no estado de Goiás e a relação dos seus extremos com o índice oceânico niño. *Boletim Goiano de Geografia*, v. 34, n. 3. Goiânia – Goiás. 2014, p. 567-584.

SAATY, T. Decision marking with the analytic hierarchy process. *Services Sciences*, vol. 1.n.1. 2008.

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.

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.

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.

SANO, E. E.; DAMBRÓS, L. A.; OLIVEIRA, G. C.; 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: Universidade Federal de Goiás; 2008. p.85-100.

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*. Uberlândia, 19(2): p. 103-121. dez., 2007.

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

SANTOS, S. A. Análise de suscetibilidade e potencial à erosão laminar da área de preservação ambiental das nascentes do rio Vermelho. *Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. João Pessoa – Paraíba, 2015.

SANTOS, F. P. dos S.; BAYER, M.; CARVALHO, T. M. de. Compartimentação pedológica da bacia do rio dos Bois município de Cezarina, Guapó e Palmeiras de Goiás (GO), e sua relação com a sustentabilidade e risco à erosão laminar. *Boletim Goiano de Geografia*, v.28, n.2. Goiânia – Goiás, 2008, p. 103-124.

SANTOS, C.A.G.; SRINIVASAN, V.S.; SUZUKI, K AND WATANABE, M. Application of an optimization technique to a physically based erosion model. *Hydrol. Process*. Published on line in Wiley InterScience, v.17, 989–1003, 2003.

SAUER, C. O. A Morfologia da Paisagem. In: CORRÊA, R. L.; ROSENDAHL, Z. (Org.) Paisagem, tempo e cultura. 2ª ed. Rio de Janeiro: UERJ, 2004.

SAUER, C. O. A Morfologia da Paisagem. In: CORRÊA, R. L.; ROSENDAHL, Z. (Org.) Paisagem, tempo e cultura. 2ª ed. Rio de Janeiro: UERJ, 2004.

SCHOBENHAUS, C.; NEVES, B. B. de B. A geologia do Brasil no contexto da Plataforma Sul-Americana. In: BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. (Org.) Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil. CPRM. Brasília – Distrito Federal, 2003.

SCOPEL, I. Avaliação da erosão com auxílio de técnicas de sensoriamento remoto e a equação universal de perdas de solo a nordeste de Cornélio Procópio (PR). Tese de doutoramento. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1988.

SCOPEL, I.; SILVA, M. R. Erodibilidade no estado de Goiás. Uniciências, v.8, n.1 e 2. Anápolis-GO, 2001, p. 129-140.

SIRECI, S. G. Modern Multidimensional Scaling: Theory and Applications. In: BORG, I.; GROENEN, P. (Org.) Book review. University of Massachusetts, Amherst. 1997.

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. Simpósio de Geoestatística Aplicada em Ciências Agrária. Botucatu –São Paulo, 2013.

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

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. 2013, p.116-138.

SILVA, J. X. da. Geoprocessamento em estudos ambientais: Uma perspectiva sistêmica. In: Meirelles, M. S. P.; CAMARA, G.; ALMEIRDA, C.M. de. (Org.) Geomática – modelos e aplicações ambientais. Embrapa, Distrito Federal, 2007.

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.

SILVA, S. D. e.; PIETRAFESA, J. P. SANTOS, A. E. A. F. dos; 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. ed PUC, Goiânia- Goiás, 2001.

SILVERMAN, B. W. Density Estimation for Statistics and Data Analysis. New York: Chapman and Hall, 1986.

SIQUEIRA, M. N. Influência do efeito de borda, da perda de habitat e de fatores abióticos na estrutura da comunidade lenhosa em fragmentos de Cerrado denso na Alta bacia do rio

Araguaia. (Tese de Doutorado) Programa de Doutorado em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás. Goiânia – Goiás, 2017.

SOBOL, N. V.; GABBASONA, I. M.; FOMISSAROV, M. A. Impacto f climate changes on erosion processes in republic of Bashkortostan. *Arid Ecosystems*, v. 5. N.4. Russian, 2015, p.216-221.

SPAROVE, G.; SCHNUG, E. Temporal erosion-induced soil degradation and yield loss. *Soil Society*, v.65. 2001, p.1479-1486.

STROOSNIJDER, L. Measurement of erosion: Is it possible?. *Catena*, v.64. 2005, p.162-173.

SUPERINTENDÊNCIA DE GEOLOGIA E MINERAÇÃO-SIC. Base Cartográfica. Disponível na Internet via: <http://www.sieg.go.gov.br/>. Acesso: Junho. 2017.

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.

SOUZA, N. M.; MEDEIROS, E. S. Cadastro de áreas degradadas e erosões no Distrito Federal. In.: CARVALHO, J. C. (Org.) I Simpósio sobre solos tropicais e processos erosivos no Centro-Oeste. Universidade de Brasília, Brasília – Distrito Federal, novembro de 2003.

SPAROVEK, G.; VAN LIER, Q. J. Definition of tolerable soil erosion values. *R. bras. Ci. Solo*, Viçosa, 21:467-471, 1997.

STROOSNIJDER, L. Measurement of erosion: Is it possible?. *ELSEVIER, Catena*, v.64, 2005, p.162-173.

TABARELLI, M.; GASCON, C. Lições da pesquisa sobre fragmentação aperfeiçoamento políticas e diretrizes manejo para a conservação da biodiversidade. *Megadiversidade*, v 1. nº1. 2005.

TEIXEIRA, P. C.; CAMPOS, D. V. B. de.; SALDANHA, M. F. C. pH do solo. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Org.) Manual de métodos de análise de solo. 3ª ed. Embrapa, Brasília, Distrito Federal, 2017.

TELLES, T.S.; GUIMARÃES, M. de F.; DECHEN, S. C. F. Avaliação dos custos da erosão do solo. 48º CONGRESSO – SOBER – Sociedade Brasileira de Economia Administração e Sociologia Rural. Campo Grande, 2010.

TRICART, J. *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro, RJ, IBGE – SUPREN, 1977.

TRICART, J.; KILIAN, J. *L'éco-géographie et l'aménagement du milieu naturel*. Paris: Editions Maspéro, 1979.

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. Oed.Rio de Janeiro: Embrapa, 2015, v. , p. 243-270

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T.. Drenagem urbana. ABRH 1995.

UNDP. Reducing disaster risk: a challenge for development, a global report. UNDP Bureau for Crisis Prevention and Recovery. New York, 2004.

VALENTIN, C.; POESEN, J.; YONG, L. Gully erosion: Impacts, factors and control. Elsevier – Catena, 2006, p.132-153.

VALERIANO, M. M. Dados topográficos. In: Florenzano, T. G. (Org.) Geomorfologia – conceitos e tecnologias atuais. 1 ed. São Paulo: Oficina de texto, 2008, p.72-104.

VALERIANO, M.M. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.3, p.539-546, 2003 Campina Grande, PB, DEAg/UFCG.

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.

VITTE, A. C. Da Natureza da Metafísica à Gênese da Geografia Física Moderna. Contribuições à história e a epistemologia da geografia. (org) VITTE, A. C. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. 294p.

VRIELING, A. Satellite remote sensing for water erosion assessment: a review. Catena, 65, 2006, p.2-18.

WISCHMEIER, W. H; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses - A guide to conservation planning. EUA Department of Agriculture, Agricultural Handbook No. 537, 1978.

WWF –Brasil . Ameaças ao Cerrado, 2018. Disponível, em: https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/questoes_ambientais/biomas/bioma_cerrado/bioma_cerrado_ameacas/ . Acesso em: Dezembro de 2019.