

MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO BANDEIRINHA EM FORMOSA-GO

Amanda Furtado de **Mendonça**¹, Thiara Messias de Almeida **Teixeira**¹, Olavo Amancio de **Oliveira**², Amom Chrystian de Oliveira **Teixeira**¹

(1 – Universidade Estadual de Goiás - Campus Nordeste, Formosa, amandageo2013@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2330-5996>, thiaramessias@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5605-6124>, amomteixeira@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7375-7432>, 2 – Universidade de Brasília, olavotop@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0304-2700>)

Resumo: A Bacia Hidrográfica do Córrego Bandeirinha possui aproximadamente 180 km² e apresenta importância estratégica para o município de Formosa-GO. A pesquisa elaborou o mapa de vulnerabilidade ambiental da referida bacia a partir das geotecnologias, considerando a análise sistêmica e os estudos integrados da paisagem. Para isso, utilizou-se dados do meio físico disponibilizados em formato *shapefile* pelo Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG) e dados extraídos de uma imagem SRTM. A bacia apresenta um quadro ambiental diversificado que influenciou em diversos níveis de vulnerabilidade ambiental. Constatou-se que 87,15% da área possui uma vulnerabilidade ambiental bem expressiva, onde 57,61% compreendem a vulnerabilidade média e 29,54% representa um índice de vulnerabilidade alta, sendo que essas áreas sofrem diretamente a ação antrópica, possuem maiores declividades e seus solos são mais rasos e mais susceptíveis aos processos erosivos.

Palavras chave: perda de solo, geotecnologias, paisagem.

MAPPING THE ENVIRONMENTAL VULNERABILITY OF THE BANDEIRINHA RIVER WATERSHED IN FORMOSA-GO

Abstract: The Bandeirinha River Watershed has an area of approximately 180 km² and is strategically important to the town of Formosa, state of Goiás. The survey has drawn an environmental vulnerability map for the watershed using geotechnologies and taking into

account systemic analysis and integrated studies of the landscape. For such, physical environment data made available in shapefile format by the Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG) and data extracted from an SRTM image were used. This watershed features a diverse environmental framework, which has exerted influence at several environmental vulnerability levels. It was found that 87.15% of the area has a significant environmental vulnerability, 57.61% of which is related to moderate vulnerability and 29.54% to a high vulnerability index, considering that these areas suffer direct anthropic action, have steeper slopes and their soils are shallower and more susceptible to erosive processes.

Keywords: loss of soil, geotechnologies, landscape.

MAPEO DE LA VULNERABILIDAD AMBIENTAL DE LA CUENCA DEL ARROYO BANDEIRINHA EN FORMOSA-GO

Resumen: La Cuenca Hidrográfica del Arroyo Bandeirinha posee aproximadamente 180 km² y demuestra importancia estratégica para el municipio de Formosa-GO. La investigación elaboró un mapa de vulnerabilidad ambiental de la referida cuenca a partir de las geotecnologías, considerando el análisis sistémico y los estudios integrados del paisaje. Para ello, se utilizaron datos del medio físico, puestos a disposición en formato shapefile por el Sistema Estadual de Geoinformación de Goiás (SIEG), y datos extraídos de una imagen SRTM. La cuenca presenta un marco ambiental diversificado que influyó en diversos niveles de vulnerabilidad ambiental. Se constató que el 87,15% del área demuestra una marcada vulnerabilidad ambiental, con un 59,61% expuesto a vulnerabilidad media y un 29,54% a vulnerabilidad alta, tomando en cuenta que dichas áreas sufren directamente la acción antrópica, cuentan con mayor declive y sus suelos son más rasos y susceptibles a procesos erosivos.

Palabras clave: pérdida de suelo, geotecnología, paisaje.

Introdução

Nas últimas décadas as discussões ambientais sobre o Cerrado brasileiro têm ganhado espaço e destaque nos meios acadêmico e científico devido à expansão da fronteira agrícola e aos impactos ambientais decorrentes da utilização inadequada dos seus recursos. Dentre os impactos ambientais nesse domínio, a erosão dos solos tem merecido atenção pelos seus efeitos na produção agrícola e pelas consequências sociais, econômicas e fiscais decorrentes da perda de áreas cultiváveis em diversas partes do país.

Os processos erosivos ocorrem de forma natural, sendo corresponsáveis pelo modelado da paisagem, mas a ação antrópica tem interferido nos sistemas naturais e ampliado os efeitos da erosão. Neste bojo, destaca-se que como observado por Ross (1994), a fragilidade dos ambientes naturais face às intervenções humanas é maior ou menor em razão de suas características como tipos de climas, solos, relevo, cobertura vegetal. Além disso, os usos dos solos que desconsiderem a estrutura, os elementos e os fluxos de matéria e energia da paisagem afetarão a dinâmica dos ambientes, impactando diretamente os solos e os recursos hídricos.

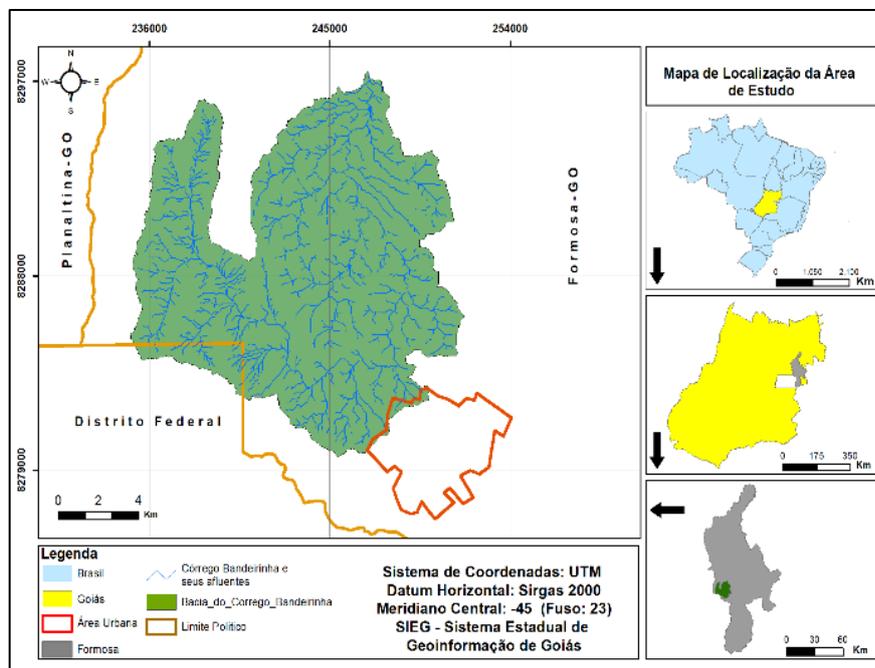
Nesse cenário, a bacia hidrográfica é comumente utilizada como unidade de estudos ambientais porque se constitui em um sistema natural bem delimitado no espaço. Seu conceito, como um conjunto de terras drenadas por um rio principal ou sistema fluvial (CHRISTOFOLETTI, 1980), foi ampliado ao longo das últimas décadas, deixando de ser puramente hidrológico para consubstanciar o encadeamento sistêmico dos fatores naturais e antrópicos que incidem em sua área.

Destarte, pesquisas ligadas à identificação das vulnerabilidades ambientais em bacias hidrográficas tornam-se importantes instrumentos de subsídio das ações de mitigação e contenção dos processos erosivos, pois estas vulnerabilidades estão frequentemente ligadas tanto à fragilidade natural quanto à exploração antrópica das bacias hidrográficas.

O Cerrado, um dos principais biomas do país, um *hotspot* da conservação mundial e que, sob forte pressão antropogênica com objetivo de produção de grãos e carne, já teve quase metade de sua área substituída por pastagens e monoculturas agrícolas (KLINK; MACHADO, 2005; FALEIRO; FARIAS NETO, 2008; STRASSBURG *et al.*, 2017). Tem-se como alguns dos principais desafios atuais, a compatibilização das atividades produtivas com as potencialidades e vulnerabilidades ambientais e a minimização dos processos relacionados à perda dos solos e da qualidade dos sistemas hídricos.

Por isso, o presente trabalho produziu o mapa da vulnerabilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Córrego Bandeirinha, localizada na área central do Cerrado, na microrregião do Entorno do Distrito Federal em Formosa-GO. A bacia possui aproximadamente 180 km² situados, principalmente na zona rural do município (Figura 01), e entre os usos múltiplos de seus recursos hídricos encontram-se a irrigação (agricultura), a dessedentação de animais (pecuária) e o abastecimento da área urbana que concentra, segundo informações do último censo demográfico (IBGE, 2010), cerca de 92% dos 100.085 habitantes.

Figura 1 – Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Córrego Bandeirinha, Formosa-GO.



Organização: Autores, 2018.

O trabalho aborda a vulnerabilidade ambiental de uma bacia hidrográfica no Cerrado, com base na metodologia de Crepani *et al.* (2001) e dos pressupostos teóricos derivados da Teoria Geral dos Sistemas e dos Estudos Integrados da Paisagem na Geografia (TRICART, 1977), em uma análise que se propõe a incorporar a complexidade sistêmica dos elementos da paisagem através dos SIGs (Sistemas de Informações Geográficas).

Considera-se que a avaliação sistêmica de um ambiente constitui a base para o estudo integrado da relação entre os seus agentes naturais, possibilitando a gestão dos usos dos recursos em sintonia com a conservação da paisagem e da biodiversidade. Os estudos integrados pressupõem a compreensão da dinâmica ambiental com ou sem a intervenção humana (ROSS, 1994) e, dessa forma, propõem a compreensão da interconectividade dos componentes ambientais do meio físico em busca de uma noção holística e de totalidade, para subsidiar a melhor compreensão do binômio sociedade-natureza (SANTOS, 2011).

Metodologia

Tal como disposto na metodologia proposta por Crepani *et al.* (2001) e adaptada para a pesquisa, o trabalho contou com a composição de bancos de dados com Planos de Informação

(PI) temáticos e georreferenciados, com a reinterpretação de dados temáticos multiescalares disponíveis (geologia, geomorfologia, pedologia, cobertura vegetal, intensidade pluviométrica, uso da terra entre outros) a partir dos limites da bacia hidrográfica que foram utilizados para realizar a caracterização ambiental e a descrição da paisagem da Bacia Hidrográfica do Córrego Bandeirinha.

A individualização e delimitação da bacia hidrográfica, a rede hidrográfica, as altitudes e as declividades foram obtidas através de uma imagem da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) em ambiente do Arcgis 10.3, apoiada por pontos georreferenciados em campo. Os demais dados cartográficos temáticos foram obtidos a partir da literatura científica, da base de dados do Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG) e da interpretação em ambiente Arcgis dos dados climáticos da estação convencional Formosa (Código OMM: 83379).

Os mapas de origem para composição dos PIs, e que posteriormente foram cruzados são:

- Mapa de geologia na escala de 1:500.000 da Superintendência de Geologia e Mineração – SIC (GO);
- Mapa de declividade gerado a partir de imagens SRTM com resolução 30 m interpolada pelo projeto TOPODATA. A declividade foi selecionada por estar associada ao volume e magnitude de água infiltrada e escoada superficialmente e as taxas de erosão dos solos.
- Mapa de solos na escala de 1:250.000, refinamento do mapeamento de solos da EMATER (Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural);
- Mapa de usos e cobertura do solo do bioma Cerrado de 2014 do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) com recorte para o Estado de Goiás;
- Dados de precipitações mensais e anuais do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil) para o município de Formosa (estação Formosa, código OMM 83379) e mapa Koeppen Brasil detalhado produzido por Alvares *et al.* (2013).

As unidades dos mapas temáticos (geologia, relevo, solos, cobertura do solo e clima) da bacia hidrográfica foram verificadas, quando possível, em campo e em reclassificadas em gabinete, utilizando os valores referenciais de vulnerabilidade contidos em Crepani *et al.*

(2001). Desta forma, a integração dos PIs dos mapas foi realizada através da aplicação da equação empírica da vulnerabilidade natural à perda de solo (Equação 1), estabelecida por Crepani *et al.* (2001), por intermédio da ferramenta *Raster Calculator* no software Arcgis 10.3.

$$V = \frac{(G + R + S + Vg + C)}{5}$$

Equação 1: Equação empírica da vulnerabilidade natural à perda de solo:

Onde V é vulnerabilidade, G é vulnerabilidade para o tema geologia, R é vulnerabilidade para o tema geomorfologia (neste trabalho utilizou-se a declividade), S é vulnerabilidade para o tema solos, Vg é vulnerabilidade para o tema vegetação (cobertura vegetal) e C é vulnerabilidade para o tema clima relacionada a intensidade pluviométrica.

Assim, obteve-se o mapa com unidades de paisagem com vulnerabilidades que variam entre 1 (estável) em ambientes onde prevalecem a pedogênese e 3 (instável) em áreas em que a morfogênese prevalece (Quadro 1).

Quadro 1 – Avaliação da estabilidade das categorias morfodinâmicas.

Categoria	Relação Pedogênese/Morfogênese	Valor
Estável	Prevalece Pedogênese	1,0
Intermediária	Equilíbrio Pedogênese/Morfogênese	2,0
Instável	Prevalece Morfogênese	3,0

Fonte: Crepani *et al.* (2001).

Para a área de estudo, levando em consideração suas características naturais e formas de uso e apropriação dos recursos, foram atribuídos os seguintes valores para os elementos ambientais (Quadro 2).

A validação do mapa de vulnerabilidade ocorreu no campo do mês de outubro de 2018, quando se percorreu toda a bacia hidrográfica, verificando a correlação entre o mapa produzido e as paisagens da bacia hidrográfica e com os registros fotográficos georreferenciados realizados ao longo da pesquisa.

Quadro 2 – Valores de vulnerabilidade para os aspectos ambientais da Bacia Hidrográfica do Córrego Bandeirinha, Formosa-GO.

GEOLOGIA	
Unidades/Categorias	Valores e cores para a vulnerabilidade
Coberturas detrítico-lateríticas	3
Conglomerática- Rítmica quartzítica inferior	1
Paraopeba	2,9
Depósitos aluvionares	3
Rítmica quartzítica intermediária	1
Síltico- Ardoziana	2,2
GEOMORFOLOGIA/DECLIVIDADE	
< 2%	1
2 - 6%	1,5
6 - 20%	2
20 - 50%	2,5
> 50%	3
CLIMA	
Intensidade pluviométrica	1,7
SOLOS	
Latosolo	1
Cambissolo	2,5
Neossolo	3
USO DO SOLO	
Vegetação de Cerrado	1
Pastagem	2,5
Urbano	3
Cultura anual	3

Fonte: Adaptado de Crepani *et al.* (2001).

Resultados e Discussão

Caracterização ambiental da área de estudo

Geologia

A área de estudo encontra-se inserida na Província do Tocantins, uma megaentidade litotectônica formada por cinturões de dobras e empurrões resultado da convergência de blocos continentais durante o Neoproterozóico (PEROSI, 2006). Nessa província, na borda oeste do Cráton do São Francisco, está compreendida a Bacia Hidrográfica do Córrego Bandeirinha

sobre a Zona Externa da Faixa Brasília, que segundo Fuck *et al.* (1994) é composta pelos grupos Paranoá, Canastra e Bambuí, pelas formações Vazante e Ibiá e por porções de seu embasamento. Destes grupos, são expostas na bacia hidrográfica litofácies dos grupos Paranoá e Bambuí, além de coberturas detrito-lateríticas ferruginosas e depósitos aluvionares mais recentes depositados nos vales do baixo curso do Rio Bandeirinha (Figura 2).

O grupo Paranoá corresponde a sucessão de depósitos psamo-pelito-carbonatados (ALVARENGA *et al.*, 2007) que na bacia são expostos como um conjunto de litofácies depositadas ao longo de três ciclos sedimentares proterozóicos denominados Unidade Conglomerática Quartzítica Rítmica Inferior, Unidade Siltíco-Ardosiana e Unidade Rítmica Quartzítica Intermediária – segundo dados litoestratigráficos apresentados por Faria e Dardenne (1995).

Na região de Formosa-Bezerra-Cabeceiras o grupo Paranoá é exposto no centro de grandes anticlinais inversos de flancos falhados (LATRUBESSE; CARVALHO, 2006; ALVARENGA *et al.* 2007) em que aparecem as rochas sedimentares e metamórficas formadas a partir de sistemas de sedimentação plataformais carbonáticos (transgressivos) e siliclásticos (intermediário) (FARIA; DARDENNE, 1995). Sobre o Paranoá nessa região, Martins-Ferreira *et al.* (2013, p. 374) afirmam que:

A unidade basal é composta por quartzitos que gradam de grossos a finos e fazem contato gradual intercalado com a Unidade Ritmito Inferior, na qual quartzitos finos se intercalam com metassiltitos. Próximo ao topo dessa unidade são abundantes as lentes de calcário e dolomito, e sobrepondo o Ritmito Inferior, ocorrem arcóseos médios a muito grossos, por vezes seixosos (MARTINS-FERREIRA *et al.* 2013, p. 374).

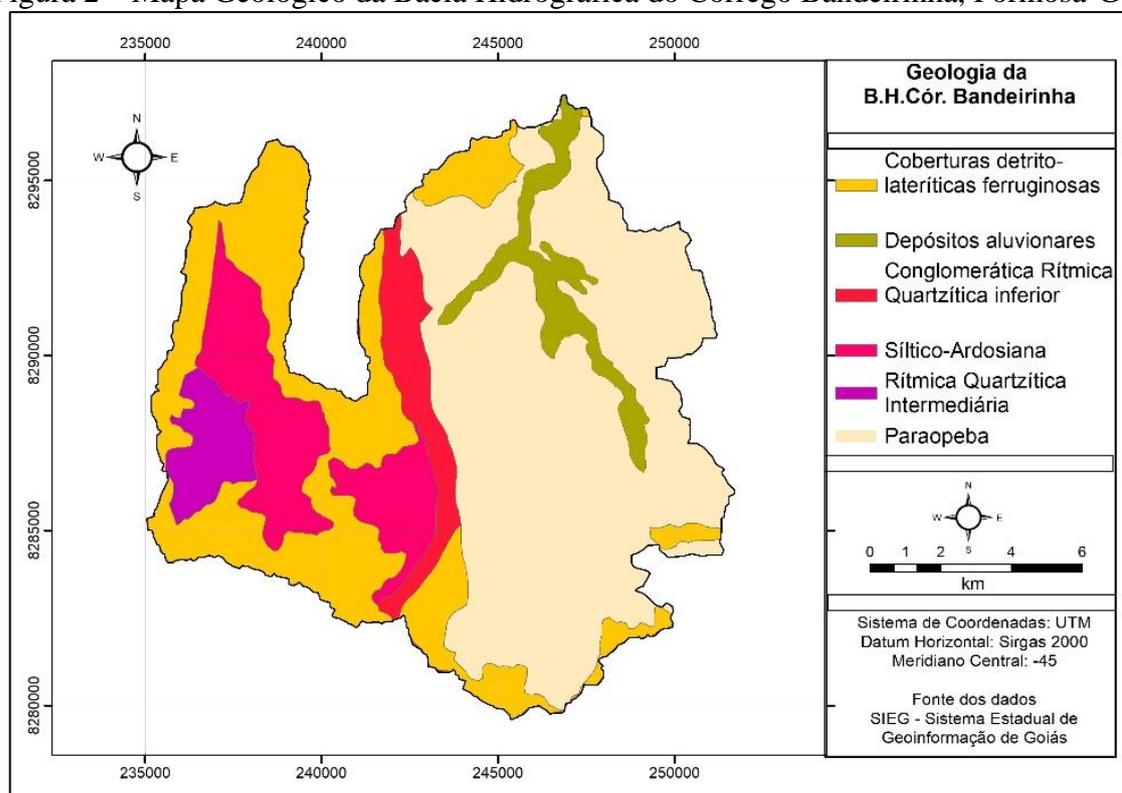
Já o Grupo Bambuí se apresenta pelo Subgrupo Paraopeba que ocupa parte significativa do médio e baixo curso. Embora o Bambuí seja de sedimentação mais recente, o sistema de falhamento inverso que deu origem a paisagem regional faz com que, na bacia e na região, o Subgrupo Paraopeba esteja exposto em cotas altimétricas mais baixas que o Grupo Paranoá. O Paraopeba, representa um conjunto de rochas proterozóicas pelito-carbonatadas do Grupo Bambuí (ALVARENGA, 2007).

A unidade das Coberturas Detrito-lateríticas Ferruginosas tem origem Cenozóica (miocênica) e sua formação está relacionada a sistemas de sedimentação de leques aluviais (SIEG, 2019). A unidade se apresenta sob a forma de aglomerados, areias, argilas e lateritas

pouco consolidadas ou inconsolidadas que formam superfícies aplainadas a suavemente onduladas nas cotas de maior altitude na Bacia Hidrográfica do Córrego Bandeirinha.

E por fim, os depósitos aluvionares tem origem recente, sendo produto da deposição aluvial holocênica a partir de um sistema fluvial anastomosado que formou depósitos de areias inconsolidadas nos vales do baixo curso da Bacia Hidrográfica do Córrego Bandeirinha e se estendem por sua planície de inundação (Figura 2). Os materiais predominantes nesta unidade são as areias embora também ocorram cascalhos, siltes e argilas.

Figura 2 – Mapa Geológico da Bacia Hidrográfica do Córrego Bandeirinha, Formosa-GO.

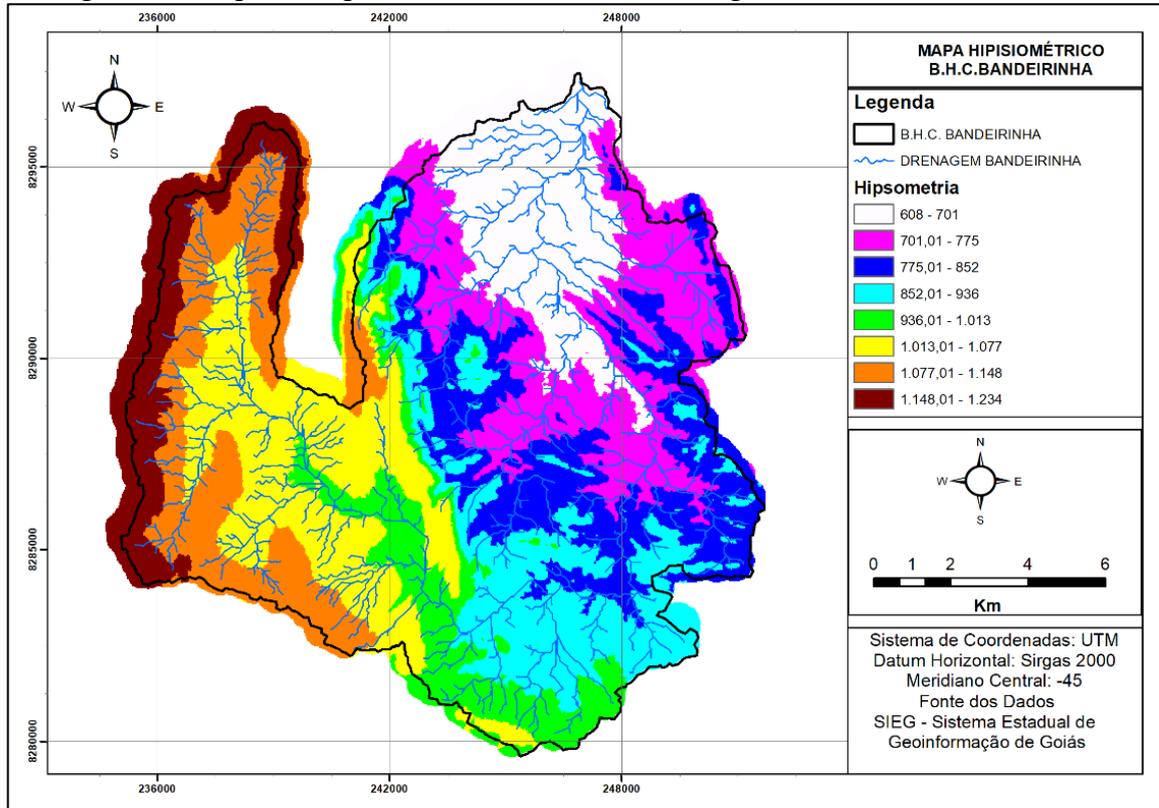


Organização: Autores, 2018.

Geomorfologia

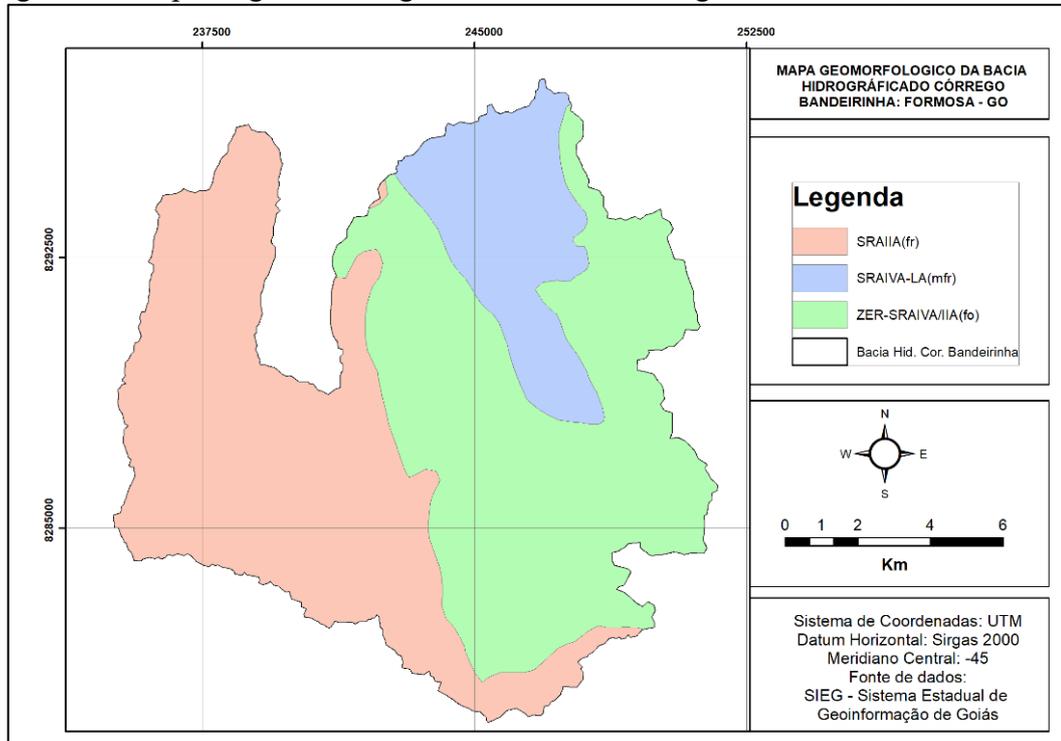
Quanto ao relevo, a bacia apresenta desníveis significativos e elevação abrupta de altitude entre a foz (608 metros acima do nível do mar) e o ponto mais alto do divisor de águas oeste, na Serra Geral do Paranã (1.234 metros acima do nível do mar) (Figura 3). É possível individualizar duas grandes formações geomorfológicas: as Superfícies Regionais de Aplainamento (SRA) e a Zona de Erosão Recuante (ZER) (Figura 4).

Figura 3 – Mapa de Hipsométrico da Bacia do Córrego Bandeirinha, Formosa-GO.



Organização: Autores, 2018.

Figura 4 – Mapa de geomorfológico da Bacia do Córrego Bandeirinha, Formosa-GO.

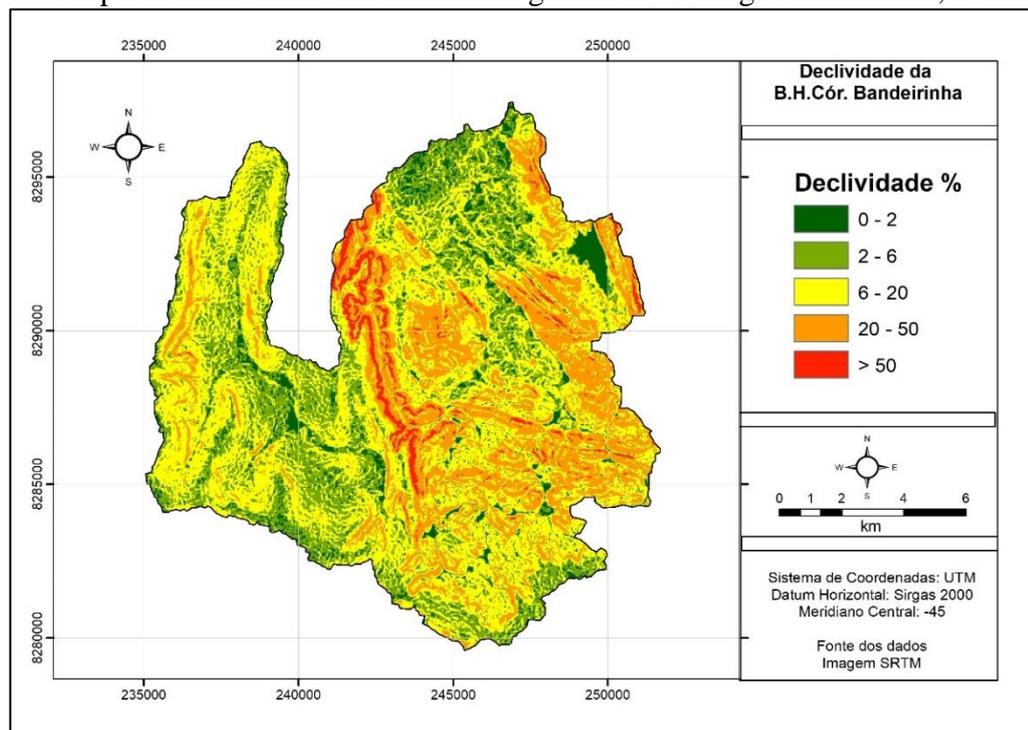


Organização: Autores, 2018.

As Superfícies Regionais de Aplainamento (SRA) são as unidades mais representativas da geomorfologia do Estado de Goiás e Distrito Federal, são áreas denudacionais, formadas pelo arrasamento e aplainamento de formas pretéritas, relativamente independente de controles geológicos regionais (LATRUBESSE; CARVALHO, 2006).

Na área de estudo, as SRAs ocorrem em dois patamares escalonados em diferentes cotas: no alto curso da bacia hidrográfica a unidade SRAIIA formada, principalmente, a partir da unidade das Coberturas Detrito-lateríticas Ferruginosas, distinguindo áreas onde ocorrem declividades mais suaves resultantes da fraca dissecação da paisagem (Figura 5). No patamar mais baixo ocorre a SRAIVA-LA que tem padrão de dissecação ainda mais fraco que a SRAIIA, constituído a partir de sistemas lacustres sobre rochas do Bambuí (Formação Paraopeba) pouco resistentes à erosão – tais como siltitos, argilitos e calcários (LATRUBESSE; CARVALHO, 2006) – e da já referida faixa de depósitos aluviais do baixo curso do rio Bandeirinha.

Figura 5 – Mapa de declividade da Bacia Hidrográfica do Córrego Bandeirinha, Formosa-GO.



Organização: Autores, 2018.

Já a outra unidade, a Zona de Erosão Recuante, é uma faixa transicional entre a SRA de cota mais alta e a de cota mais baixa, que atua como nível de base local (LATRUBESSE *et al.*, 2005). Essa unidade transicional possui padrão forte de dissecação e produz relevos mais

irregulares e movimentados como o montanhoso ou o escarpado, com as maiores declividades da bacia hidrográfica como pode ser observado na Figura 6.

Figura 6 – Zona de Erosão Recuante em Formosa-GO.



Fonte: Trabalho de campo

Clima

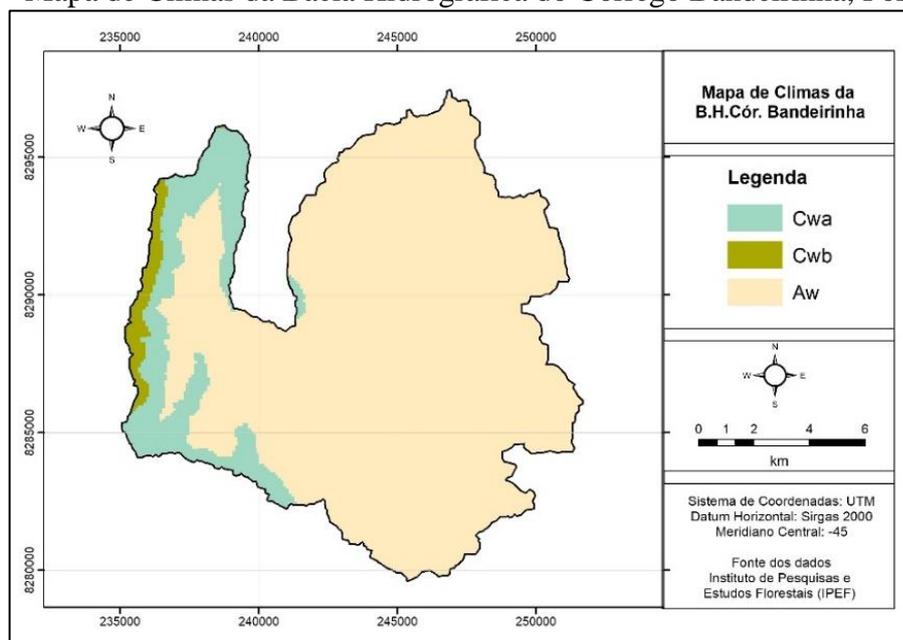
Embora possua uma extensão de pouco mais de 180 km² e o maior eixo da bacia possua pouco mais de 18 km, a combinação da dinâmica atmosférica com as diferenciações hipsométricas, superiores a 600 metros, na área da Bacia Hidrográfica do Córrego Bandeirinha provocam a distinção climática produzindo três tipologias climáticas: Aw, Cwa e Cwb (Figura 7).

Sob influência das massas de ar Tropical Atlântica e Equatorial Continental, o clima da maior parte da bacia hidrográfica, segundo classificação de Köppen, é o Aw. Este clima é caracterizado por duas estações bem definidas: um inverno seco, nos meses centrais do ano, e um verão úmido com meses de chuvas torrenciais no resto do ano. O climograma de Formosa, elaborado a partir de dados do INMET da estação convencional Formosa, apresenta uma precipitação média de 1.465 mm anuais, concentradas entre os meses de outubro a março (primavera e verão), sendo o resto do ano bastante seco, com precipitações abaixo dos 10 mm em alguns meses (CLIMATEDATA.ORG, 2019).

Na região Centro-Oeste, a estiagem de inverno supracitada tem origem no deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) para norte e na estabilidade gerada pela influência do anticiclone subtropical Atlântico Sul e de pequenas dorsais sobre o continente sul-

americano (NIMER, 1989; CARDOSO *et al.* 2012). Já as chuvas de verão têm sua gênese ligada ao deslocamento da ZCIT para sul, acompanhando a marcha aparente do Sol em direção ao Trópico de Capricórnio o que gera instabilidade no Brasil central (CARDOSO *et al.* 2012).

Figura 7 – Mapa de Climas da Bacia Hidrográfica do Córrego Bandeirinha, Formosa-GO.



Organização: Autores, 2018.

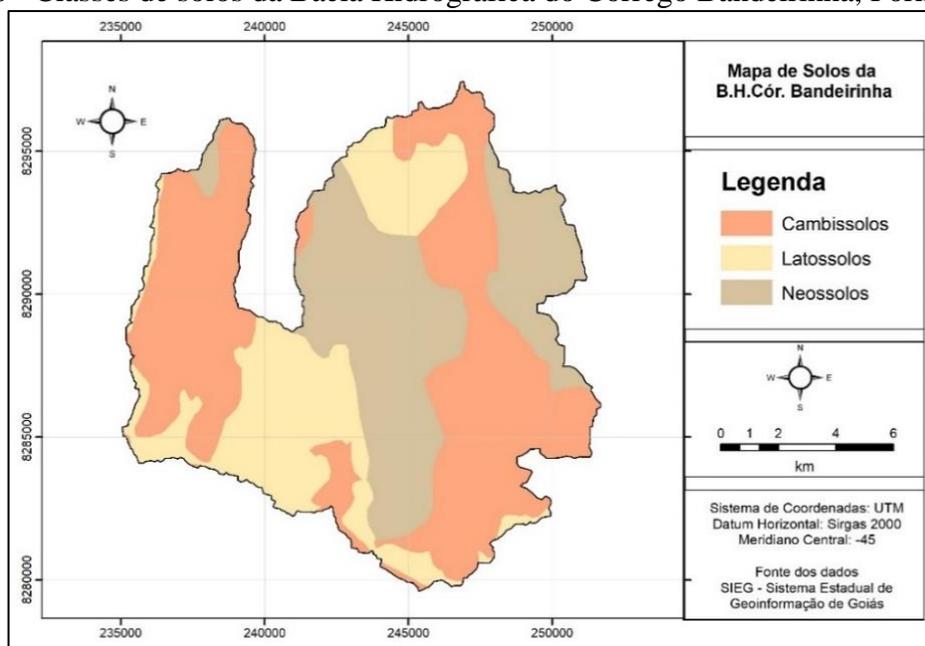
No extremo oeste da bacia hidrográfica, o aumento abrupto das altitudes transiciona o clima de Aw para Cwa (subtropical húmido) e Cwb (subtropical de altitude), que ocorrem em faixas estreitas de direção sudoeste-nordeste nos divisores oeste da bacia hidrográfica sobre a unidade geomorfológica SRAIIA. Assim, como o Aw estes climas também se caracterizam pelo inverno seco, mas as temperaturas são mais baixas do que as que ocorrem no resto da área.

Nesta bacia hidrográfica, em função da influência das massas de ar tropical e equatorial, anteriormente citadas, o clima permanece quente o ano inteiro com pouca estacionalidade das médias mensais. A temperatura média da bacia hidrográfica é de 22,1°C, com menores valores registrados no inverno, justificando a classificação climática em Aw na maior parte de sua área. É possível inferir sobre a diminuição da temperatura na direção leste-oeste em função das mudanças altitudinais na área da bacia hidrográfica a partir do mapa climático de Alvares *et al.* (2013) e das observações da região Centro-Oeste do Brasil realizadas por Ayoade (2011), onde há queda de 0,6°C a cada 100 metros de altura.

Solos

A combinação dos fatores pedogenéticos distinguiu na Bacia Hidrográfica do Córrego Bandeirinha três classes de solos predominantes: a classe de solos profundos e quimicamente pobres, os Latossolos, e as classes de solos rasos e quimicamente pobres com horizontes B incipiente (Bi) ou inexistente (sequência A-C ou A-R), respectivamente Cambissolos e Neossolos (Figura 8).

Figura 8 - Classes de solos da Bacia Hidrográfica do Córrego Bandeirinha, Formosa-GO.



Organização: Autores, 2018.

Os Neossolos têm origem litólica, e aparecem na paisagem associados às áreas de relevo mais movimentadas – ondulado a escarpado – principalmente na unidade de relevo Zona de Erosão Recuante.

Os Latossolos vermelhos estão associados às áreas aplainadas – relevo plano a subondulado - que em conjunto com as intempéries geram solos distróficos e ácidos, porosos e permeáveis, com texturas que variam de argilosas a muito argilosas. Sendo solos derivados das Coberturas Detrito-lateríticas Ferruginosas, ricos em hidróxido de ferro que lhe conferem a cor característica vermelha. E os Cambissolos – háplicos e distróficos – são solos pouco desenvolvidos que aparecem no restante da bacia hidrográfica, estando relacionado a materiais parentais pobres e a relevo predominantemente plano a ondulado.

Descendendo de material parental em geral pobre, intemperizado e depositados em ciclos sedimentares plataformais e aluviais, entre o Proterozóico e o Cenozóico, parte significativa dos solos da bacia hidrográfica são quimicamente pobres. Os solos também possuem impedimentos físicos à agropecuária, principalmente nas áreas de relevos mais movimentadas que originam solos pouco profundos e o horizonte superficial é continuamente removido pelas intempéries.

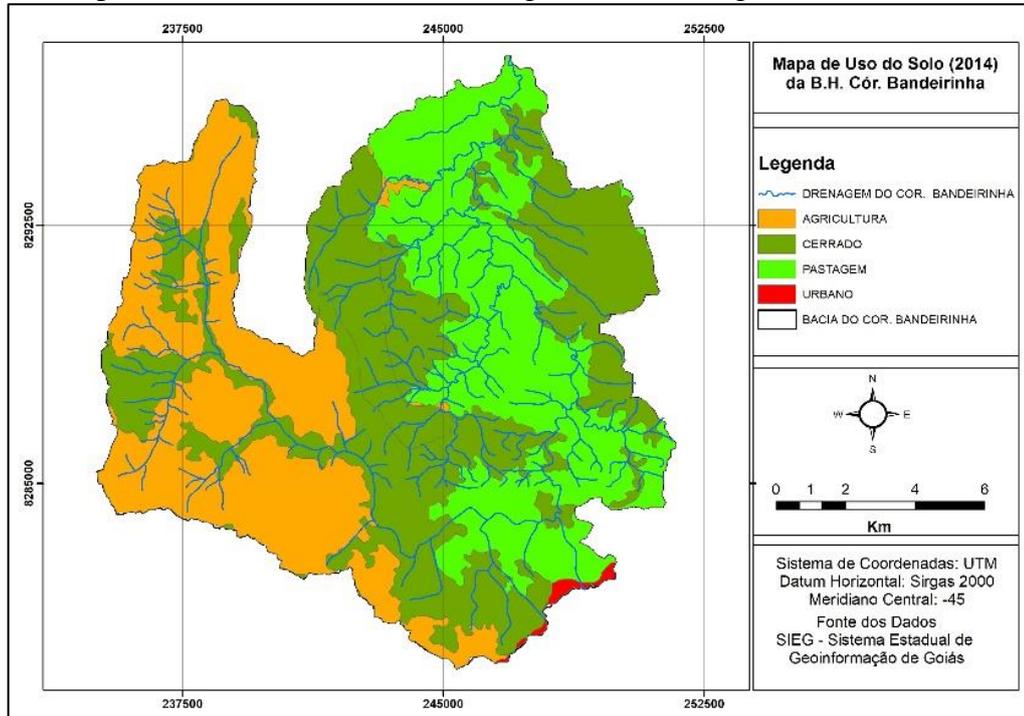
Uso e cobertura do solo

A cobertura vegetal tem papel fundamental na proteção dos solos e da água, pois a vegetação assume a função de interceptar parte da precipitação e regular o balanço hídrico e o escoamento superficial. A paisagem original da bacia em questão era dominada por formações vegetais savânicas típicas, tais como cerrado ralo, cerrado típico, campo sujo, mata de galeria e matas ciliares.

Entretanto, por estar inserida em uma região conhecida por seu contexto agropecuário, com destaque para o cultivo de grãos e para a pecuária, principais atividades econômicas do estado de Goiás, a paisagem da bacia hidrográfica foi modificada com a expansão do agronegócio sobre sua área. Nas áreas mais planas, nas unidades geomorfológicas das SRAs, a vegetação original foi substituída pelas pastagens e pela agricultura (Figuras 9 e 10).

Atualmente, restam das formações vegetais originais, apenas as áreas de florestas ribeirinhas (matas de galeria e matas ciliares) e as vegetações de cerrado e cerradão em áreas onde o relevo é movimentado e impede a ocupação e a mecanização ou nos interstícios das áreas agropecuárias sob a forma de áreas de preservação permanente, reservas legais ou abandonadas.

Figura 9 – Mapa de uso do solo da Bacia Hidrográfica do Córrego Bandeirinha, Formosa-GO.



Organização: Autores, 2018.

Figura 10 – Área de pastagem em relevo movimentado da Zona de Erosão Recuante em Formosa-GO.

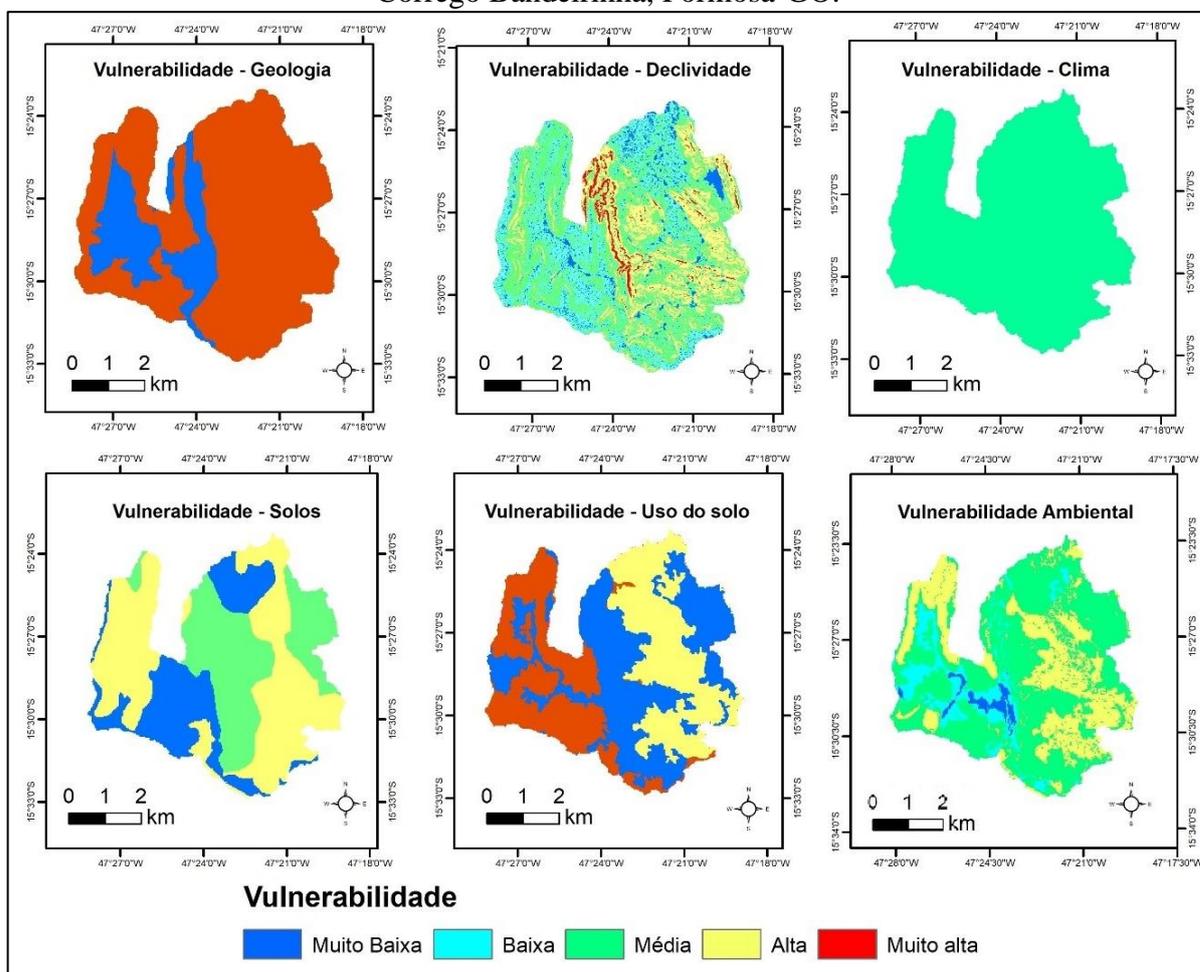


Fonte: Trabalho de campo

Avaliação da vulnerabilidade ambiental

A análise integrada, considerando os aspectos geoambientais da bacia do Bandeirinha, permitiu a identificação da contribuição dos principais elementos da paisagem à perda de solos, bem como os efeitos da correlação destes na erosão. Dessa forma, de acordo com a metodologia proposta para este trabalho foram estabelecidos valores de vulnerabilidade para as unidades de geologia, geomorfologia, clima, solos e cobertura do solo e, posteriormente essas vulnerabilidades foram integradas em um mapa de vulnerabilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Córrego Bandeirinha (Figura 11).

Figura 11 – Mapa de avaliação da Vulnerabilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Córrego Bandeirinha, Formosa-GO.



Os valores atribuídos para as unidades geológicas tiveram como base as recomendações de Crepani *et al.* (2001) (Quadro 2), os processos físicos, químicos e biológicos predominantes na bacia hidrográfica e a natureza e grau de coesão das rochas e dos sedimentos dominantes na

área. De posse das informações geológicas da bacia já expostas, verifica-se que a maior parte dela tem vulnerabilidade geológica à erosão muito alta (Figura 11), isto é, sendo embasada sobre rochas e sedimentos com baixo grau de consolidação ou mesmo inconsolidadas, tais como as que ocorrem nas unidades Coberturas Detrito-Lateríticas Ferruginosas e nos Depósitos Aluvionares. A principal exceção é a maior estabilidade aos processos erosivos esperada das rochas do Grupo Paranoá onde ocorre a abundante presença de quartzitos, muito resistentes aos processos intempéricos, que se intercalam com outras rochas metamórficas.

Embora existam diversas características do relevo que afetam a dinâmica da erosão, a declividade exerce influência preponderante por estar relacionada à energia cinética e a quantidade de água escoada superficialmente. Sob as demais condições semelhantes – como precipitações, solos e vegetação – maiores declividades estarão relacionadas a menores volumes infiltrados, maiores volumes escoados superficialmente e maior competência erosiva do escoamento.

Os valores de declividade expressos na Figura 5 mostram que na maior parte da bacia hidrográfica (Figura 11) predomina a suscetibilidade geomorfológica à perda de solos média a muito alta. As declividades mais baixas estão associadas as SRAs com relevos planos a suavemente ondulados e são considerados estáveis aos processos de perda de solo (MOTA; VALLADARES, 2011).

As áreas de maior declividade e maior vulnerabilidade ocorrem, principalmente nas ZER, onde as elevações abruptas de altitude escalonam as duas áreas de SRA. Nessa unidade geomorfológica, as declividades são bem maiores, ultrapassando os 50%.

Acerca do tema clima, a principal característica considerada neste trabalho é a erosividade das precipitações, que combina a quantidade de precipitações anuais e a concentração temporal dessas precipitações. Esse aspecto é importante porque pluviosidades altas combinadas com duração curta do período chuvoso se traduzem em grandes quantidades de água e energia potencial disponíveis no sistema para os processos de *runoff* (CREPANI *et al.*, 2001). Considera-se, desta forma, que a erosividade das precipitações está ligada à intensidade pluviométrica (CREPANI, *et al.* 2001; SILVA; CORREA, 2007).

Na Bacia Hidrográfica do Córrego Bandeirinha, embora haja variações climáticas entre Aw e Cw no sentido leste-oeste, as diferenças entre estes climas são principalmente referentes à variação anual de temperaturas e afetam pouco a intensidade pluviométrica e a consequente erosividade das precipitações. Nessa bacia hidrográfica, que possui, em média, mais de 1.400

mm anuais de precipitação concentrados ao longo de sete meses do ano, os processos de *splash* e *runoff* possuem grande competência erosiva e levaram a classificação de vulnerabilidade climática como moderadamente estável (1,7) para toda a área de estudo (Figura 11).

Sobre os solos as características consideradas estão relacionadas à sua erodibilidade, isto é, sua capacidade de resistir à erosão (CREPANI *et al.*, 2001). Para classificar a erodibilidade e, portanto, o grau de vulnerabilidade pedológica à perda de solos, o trabalho utiliza um método indireto: correlaciona qualitativamente as características do solo – tais como profundidade, mineralogia, textura, porosidade, coesão e agregação, plasticidade e estrutura (ROSS, 1994; CREPANI, *et al.* 2001) – à sua taxonomia.

Como visto anteriormente, na área de estudo, o material parental predominante sedimentar e metassedimentar e o relevo que varia entre o suave ondulado e o escarpado, submetidos, ao longo do tempo, às condições climáticas de precipitações sazonais elevadas deram origem a três classes de solos dominantes: Latossolos, Cambissolos e Neossolos Litólicos. Consonante com essas classes de solos, foram estabelecidas três classes de vulnerabilidade pedológicas na bacia hidrográfica (muito baixa, moderada e alta) (Figuras 7 e 11).

Foram atribuídas aos Cambissolos e Neossolos vulnerabilidade pedológica a erosão moderada e alta, respectivamente, e aos Latossolos vulnerabilidade muito baixa. Os Latossolos são considerados estáveis frente aos processos de erosão, por serem bem desenvolvidos, permeáveis, profundos e porosos (RESENDE, 1985; MOTA, VALLADARES, 2011). Além disso, a estrutura e a profundidade também tornam as áreas de ocorrência destes solos menos suscetível aos processos erosivos (MOTA; VALLADARES, 2011).

Já o comportamento hidrológico dos Cambissolos e, principalmente dos Neossolos dessa bacia hidrográfica favorece à erosão em decorrência da baixa profundidade destes solos que resulta em condições desfavoráveis à infiltração. Além disso, ao contrário dos Latossolos que são bastante profundos, a espessura destes solos tornam as áreas de sua ocorrência mais suscetíveis aos efeitos da perda de solo.

Sobre a proteção ou vulnerabilidade dos solos pela cobertura e pelos usos da terra há uma série de fatores a serem considerados para a classificação de vulnerabilidades. Coberturas vegetais autóctones se desenvolvem em longos períodos de tempo estabelecendo equilíbrio dinâmico com os demais elementos da região e produzindo dessa forma, em geral, arranjos mais estáveis do que as de origem antropogênica. Outras características como densidade, morfologia

das espécies e da cobertura também devem ser consideradas, pois se relacionam, dentre outros, à interceptação das precipitações, à velocidade do escoamento, a relação entre evaporação, infiltração e escoamento superficial e a fixação dos solos. Na tentativa de ponderar o papel da cobertura do solo na vulnerabilidade à erosão adotou-se, a escala de Crepani *et al.* (2001).

Na bacia, a vulnerabilidade da cobertura do solo varia entre muito baixa para as áreas de vegetação de cerrado, alta para as áreas de pastagens e muito alta para as áreas agrícolas (Figura 11). Quase todo o alto curso da bacia hidrográfica é classificado como de alta vulnerabilidade de cobertura do solo, excetuando-se as áreas das florestas ribeirinhas que estão relativamente preservadas que possuem vulnerabilidade muito baixa. No médio e baixo curso há áreas em que o relevo mais plano e os Cambissolos permitiram a expansão das pastagens que são classificadas como de vulnerabilidade alta segundo indicado por Crepani *et al.* (2001). As áreas de menor vulnerabilidade estão relacionadas aos ambientes onde foram conservados a vegetação do Cerrado, nas áreas mais movimentadas do relevo, onde os solos excessivamente rasos impedem os usos ou nas áreas ribeirinhas.

O mapa de vulnerabilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Córrego Bandeirinha (Figura 11) é o resultado da média aritmética de valores atribuídos aos elementos das características ambientais como proposto por Crepani *et al.* (2001) (Quadro 2). A vulnerabilidade ambiental da bacia é em sua maior parte média (57,61%) à alta (29,54%), representando aí 87,15% da área (Tabela 1). Esses valores para a vulnerabilidade ambiental média estão associado a um equilíbrio entre os processos de morfogênes e pedogênese. Uso e apropriação dos recursos na bacia precisam levar em consideração suas vulnerabilidades que estão associadas, portanto, às características físicas do ambiente e às formas de antropismo. A Figura 12 mostra processos erosivos acentuados na bacia, onde as transformações antrópicas da paisagem superaram a capacidade de suporte dos sistemas ambientais, provocando o surgimento de impactos ambientais e áreas degradadas.

Tabela 1 – Vulnerabilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Córrego Bandeirinha.

Classes	% da bacia
Muito baixa	2,22
Baixa	10,63
Média	57,61
Alta	29,54
Muito alta	0,01
Total	100,00

Figura 12: Voçoroca da Barroquinha sendo coberta por entulhos de materiais de construção e lixo.



Fonte: Trabalho de campo

Considerações Finais

- A metodologia utilizada mostrou-se bastante satisfatória na produção de informações do meio físico importantes ao planejamento, uma vez que conseguiu delimitar as áreas mais vulneráveis à perda de solo da Bacia Hidrográfica do Córrego Bandeirinha, além de ser uma metodologia de baixo custo na produção de informações ambientais.
- A análise da vulnerabilidade ambiental mostrou que a maior parte da bacia, possui vulnerabilidade média à alta (87,15%), sendo que essas áreas sofrem diretamente a ação antrópica, possuem as maiores declividades e solos menos estáveis e mais susceptíveis aos processos erosivos. A bacia em questão carece de estudos ambientais, principalmente àqueles que avaliam suas limitações ambientais.

Referências

- ALVARENGA, C. J. S.; GIUSTINA, M. E. S. D.; SILVA, N. G. C.; SANTOS, R.V.; GIOIA, S. M. C. L.; GUIMARÃES, E. M.; DARDENNE, M. A.; SIAL, A. N.; FERREIRA, V. P. Variações dos isótopos de C e Sr em carbonatos pré e pós-glaciação Jequitaiá (Esturtiano) na região de Bezerra-Formosa, Goiás. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 37, n. 4, p. 147-155, 2016.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

AYOADE, J. O. *Introdução a Climatologia para os trópicos*. São Paulo: Bertrand Brasil, 2011.

CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. R. Classificação climática de Köppen- geiger para o estado de Goiás e o Distrito Federal. *Acta Geográfica*, Boa Vista, v. 8, n. 16, jan./mar., 2014. pp.40-55.

CLIMATE-DATA.ORG. *Clima Formosa*. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/goias/formosa-43207>>. Acesso em 10 maio 2019.

CPRM. *Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno*. Fase I. Rio de Janeiro: CPRM/ EMBRAPA/ SCO-MI, 2003. v.1, 418 p.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. *Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial*. São José dos Campos: Inpe, 2001. Disponível em: <<http://sap.ccst.inpe.br/artigos/CrepaneEtAl.pdf>>. Acesso em: 06 abr 2018.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. São Paulo: Edgard Blücher, p. 102-127, 1980.

FALEIRO, F. G.; FARIAS NETO, A. L. *Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008.

FARIA, A.; DARDENNE, M. A. Estratigrafia do Grupo Paranoá na região de Alto Paraíso de Goiás-São João D'Aliança-GO. SBG. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO-OESTE. 5., 1995. *Anais [...]*, p. 75-77, 1995.

FUCK, R. A.; PIMENTEL, M. M.; SILVA, L. J. H. D. Compartimentação tectônica da porção oriental da Província Tocantins. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., Balneário Camboriú, 1994. *Anais [...]*, Balneário Camboriú, p. 215-216.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Demográfico 2010*. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br>>. Acesso em: 20 de mar 2019.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. *Megadiversidade*, v. 1, n. 1, p. 147-155, 2005.

LATRUBESSE, E. M.; CARVALHO, T. M. *Geomorfologia do Estado de Goiás e Distrito Federal*. Goiânia, 2006.

LATRUBESSE, E. M.; CARVALHO, T. M.; STEVAUX, J. C. *Mapa Geomorfológico do Estado de Goiás: Relatório final*. Goiânia, 2005, 81p.

MARTINS-FERREIRA, Marco Antônio Caçador; CAMPOS, José Eloi Guimarães, ALVARENGA, Carlos José Souza. A Formação Jequitai na região de Vila Boa, GO: exemplo de sedimentação por geleiras terminais no Neoproterozóico. *Brazilian Journal of Geology*, v. 43, p. 373-384, june 2013.

MOTA, L. H. S. O.; VALLADARES, G. S. Vulnerabilidade à degradação dos solos da Bacia do Acaraú, Ceará. *Revista Ciência Agronômica*, v. 42, n. 1, p. 39-50, 2011.

NIMER, E. *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 1989.

PEROSI, F. A. *Estrutura crustal do setor central da província Tocantins utilizando ondas p, se fases refletidas com dados de refração sísmica profunda*. Tese de Doutorado. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, 2006.

RESENDE, M. Aplicações de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. *Informe Agropecuário*, v. 11, n. 128, p. 3-18, 1985

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 8, p. 63-74, 1994.

SANTOS, J. O. *Fragilidade e riscos socioambientais em Fortaleza-CE: contribuições ao ordenamento territorial*. Tese de Doutorado (Programa de Pós- graduação em Geografia Física), Universidade de São Paulo: São Paulo 2011, 331f.

SILVA, F. L. M.; CORRÊA, A. C. B. Relações entre geossistemas e usos da terra em microbacia hidrográfica semi-árida: o caso do riacho Gravatá/Pesqueira - PE. *Revista de Geografia*, v. 24, n. 01, 2007.

SISTEMA ESTADUAL DE ESTATÍSTICA E INFORMAÇÕES GEOGRÁFICA DE GOIÁS - SIEG. Secretaria do Planejamento e Desenvolvimento do Estado de Goiás - SEPLAN. *Base cartográfica e mapas temáticos do Estado de Goiás: arquivos SIGs (shape)*. Disponível em: <<http://www.sieg.go.gov.br/>>. Acesso em: 01 de mar de 2019.

STRASSBURG, B. B. N.; BROOKS, T.; FELTRAN-BARBIERI, R.; IRIBARREM, A.; CROUZEILLES, R.; LOYOLA, R.; LATAWIEC, A. E.; OLIVEIRA FILHO, F. J. B.; SCARAMUZZA, C. A. de M.; SCARANO, F. R.; SOARES-FILHO, B.; BALMFORD. Moment of truth for the Cerrado hotspot. *Nature Ecology & Evolution*, v. 1, n. 4, p.0099, 2017.

TRICART, J. *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro: IBGE. Diretoria Técnica, SUPREN, 1977.