

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS
CAMPUS MORRINHOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE E SOCIEDADE
BRENO AMARO DA SILVA**

**AVALIAÇÃO DE VOÇOROCAS E DA SUSCETIBILIDADE EROSIVA DA PORÇÃO
SUL DA BACIA MEIA PONTE, GO**

**MORRINHOS –GO
2018**

BRENO AMARO DA SILVA

**AVALIAÇÃO DE VOÇOROCAS E DA SUSCETIBILIDADE EROSIVA DA PORÇÃO
SUL DA BACIA MEIA PONTE, GO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em “Ambiente e Sociedade”, da Universidade Estadual de Goiás – Campus Morrinhos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Professor Dr. Pedro Rogério Giongo

Co-orientador: Professor Dr. Alik Timóteo de Sousa

**MORRINHOS – GO
2018**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me concedido os recursos necessários à minha trajetória acadêmica.

Aos meus pais, esposa e demais familiares pelo esforço e incentivo para minha formação.

Aos meus orientadores, Pedro Rogerio Giongo e Alik Timóteo de Sousa, pela imensa colaboração, profissionalismo, paciência e incentivo durante todo o desenvolvimento desta pesquisa.

À Universidade Estadual de Goiás (UEG) e corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Sociedade (PPGAS) por propiciarem minha formação acadêmica.

Ao Instituto Federal Goiano, Campus Morrinhos, por me dispensar parcialmente de minhas atividades profissionais para que fosse possível cursar as disciplinas.

RESUMO

O Cerrado é o principal bioma da região centro oeste brasileiro, cujo solo é amplamente explorado pela pecuária e agricultura, como consequência disso, surgem problemas ambientais como as erosões hídricas, que são o foco deste trabalho. Nele, buscou-se caracterizar e avaliar erosões de grande porte, do tipo voçoroca, presentes na sub-bacia do Ribeirão Serra no município de Morrinhos – GO a fim de qualificar e quantificar a vulnerabilidade erosiva dessa região. Para que esse objetivo fosse alcançado, foi realizada inicialmente a caracterização in loco do solo presente nas voçorocas, além da coleta de amostras para análises físico-químicas. Posteriormente, as áreas erodidas foram avaliadas quanto à sua topografia e os dados manipulados por meio de técnicas de Geoprocessamento. Com base nessas informações, foram elaborados mapas que expõem variáveis condicionantes do processo erosivo que evidenciaram, juntamente com a caracterização físico-química, maior suscetibilidade ao surgimento de voçorocas principalmente pela litologia, classe de solos, declividade, intensidade de chuva, índice de vegetação, proximidades de vias e uso do solo. Os dados físicos e químicos dos solos da voçoroca foram submetidos à análise estatística multivariada PLS-DA para possibilitar a diferenciação ou aproximação de características das voçorocas. Essa metodologia permitiu identificar que a influência mais significativa no processo erosivo da parte sul da Bacia Meia Ponte em Goiás é a ação antrópica, sendo favorecida por ações topográficas naturais.

Palavras chave: Voçorocas, geoprocessamento, análise multivariada.

ABSTRACT

The Cerrado is the main biome of the center-west region of Brazil, whose soil is extensively exploited by livestock and agriculture, as a consequence, environmental problems such as water erosions arise, which are the focus of this work. In order to characterize and quantify the erosive vulnerability of this region, large erosions of the voçoroca type present in the sub watershed of Ribeirão Serra in the municipality of Morrinhos - GO were characterized and evaluated. In order to achieve this objective, the in situ characterization of the soil present in the gullies was carried out, as well as the collection of samples for physico-chemical analysis. Subsequently, the eroded areas were evaluated for their topography and the data manipulated through Geoprocessing techniques. Based on this information, maps were elaborated that expose variables conditioning the erosive process that showed, together with the physicochemical characterization, greater susceptibility to the emergence of gullies, mainly by lithology, soil class, slope, rain intensity, vegetation index, vicinity of roads and land use. The physical and chemical data of the voçoroca soils were submitted to the multivariate statistical analysis PLS-DA to enable the differentiation or approximation of gull characteristics. This methodology allowed to identify that the most significant influence in the erosive process of the southern part of the Meia Ponte watershed in Goiás is the anthropic action, being favored by topography natural actions.

Key words: Voçorocas, geoprocessing, multivariate analysis.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	2
RESUMO	3
ABSTRACT	4
SUMÁRIO.....	5
ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES	5
ÍNDICE DE TABELAS	7
INTRODUÇÃO.....	8
REVISÃO DE LITERATURA	10
Uso e ocupação do Cerrado.....	10
Fundamentos sobre o solo.....	12
Erosões lineares: sulcos, ravinas e voçorocas	14
A topografia e os processos erosivos	18
Movimentos de massa.....	19
Práticas de controle e recuperação	21
Técnicas de Geoprocessamento para recuperação de erosões	24
REFERENCIAS	26
CAPÍTULO 1	1
CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DE VOÇOROCAS NA SUB-BACIA DO RIBEIRÃO SERRA EM MORRINHOS-GO	1
RESUMO	1
INTRODUÇÃO.....	1
MATERIAL E MÉTODOS.....	2
Caracterização do objeto de estudo.....	3
Caracterização e análise das erosões.....	5
Descrição e coleta de solo no campo	6
RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
Fatores relacionados ao uso do solo.....	18
Análise de composição química.....	27
Análise de composição física	31

Análise multivariada	33
CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
REFERÊNCIAS	37
CAPÍTULO 2	1
VULNERABILIDADE EROSIVA DO SOLO NA PARTE SUL DA BACIA MEIA PONTE, GO	1
RESUMO:	1
INTRODUÇÃO.....	1
MATERIAL E MÉTODOS.....	2
RESULTADOS E DISCUSSÃO	7
CONSIDERAÇÕES FINAIS	11
REFERÊNCIAS	12
ANEXOS.....	I

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Exemplo de movimento de massa em área de pastagem na Voçoroca do Barreiro	20
Figura 2: Planta de Capim vetiver (<i>Vetiveria Zizanioides</i>)	23

Capítulo 1

Figura 1 - Localização geográfica da bacia Ribeirão da Serra e o município de Morrinhos	3
Figura 2 - Localização geográfica das voçorocas Barreiro, Vendinha, Retiro e Capim, em imagem de satélite (Google Earth) e área da bacia de contribuição para o canal da voçoroca.....	4
Figura 3 – Exemplo da utilização da carta de Munsell, para identificação dos tipos de solos das voçorocas estudadas.	7
Figura 4- Mapa de solos da bacia do Ribeirão da Serra no município de Morrinhos - GO	14
Figura 5- Mapas de hidrografia com a localização das voçorocas na Bacia Ribeirão da Serra, Morrinhos - GO.....	15
Figura 6 - Mapa de declividade (%) da bacia do Ribeirão da Serra no município de Morrinhos GO. .	17
Figura 7 - Mapas de hipsometria da Bacia Ribeirão da Serra, Morrinhos GO.....	18
Figura 8 – (A) Vista a montante do Barramento na Voçoroca do Capim (Novembro de 2017); (B) Barramento com vista a partir da cabeceira da Voçoroca do Capim (Novembro de 2017); (C)Trilhas de gado com formação de sulcos na voçoroca Capim (Janeiro de 2018); (D) Barramento no leito da voçoroca do Retiro (Janeiro de 2018).	19
Figura 9 – Vista a montante do Barramento na Voçoroca do Capim (Janeiro 2018).....	21
Figura 10 - Percentual de Matéria Orgânica por horizonte dos solos das erosões	30
Figura 11- Composição física média dos solos das Voçorocas.....	31
Figura 12 - Exemplo de Amostra de solo (Voçoroca Vendinha)	32
Figura 13 – Resultados da análise física dos solos no triângulo textural das Voçorocas Barreiro, Vendinha, Retiro e Capim, Morrinhos, GO.	33
Figura 14- Componentes avaliados da análise multivariada PLS-DA, com conjunto de dados químicos e físicos dos solos das voçorocas (1: Barreiro, 2: Vendinha, 3: Retiro e 4: Capim) da sub-bacia do Ribeirão Serra, município de Morrinhos , GO.	35

Capítulo 2

Figura 1 - Localização geográfica da parte sul da bacia hidrográfica Meia Ponte, GO.	3
Figura 2 - Reclassificação das variáveis para a suscetibilidade para Litologia (A), Classe de solos (B), Declividade (C), Intensidade das chuvas (D), Vigor de vegetação (E), Proximidade de vias (F), Uso do solo (G), e imagem Landsat 8, composição R6G5B4 (H).....	9

Figura 3 - Mapas de suscetibilidade erosiva natural (A) e antrópica (B) para a parte sul da bacia do Rio Meia Ponte, Goiás, 2017.	10
Figura 4 - Percentuais de áreas nas classes de Suscetibilidade Erosiva Natural e Antropizada da parte sul da bacia Meia Ponte, Goiás, 2017.	11

ÍNDICE DE TABELAS

Capítulo 1

Tabela 1 - Classificação da consistência do solo quando seco.....	10
Tabela 2 – Classificação da consistência do solo quando úmido.	10
Tabela 3 - Classificação da consistência do solo quando molhado.....	11
Tabela 4 – Características textural do solo considerando solos arenosos e argilosos.	12
Tabela 5 - Dimensões das voçorocas Barreiro, Vendinha, Retiro e Capim, localizadas na bacia do Retiro, Morrinhos GO.	16
Tabela 6 - Espessura e arranjo dos horizontes das voçorocas	23
Tabela 7 - Classificação da cor do solo dos horizontes das voçorocas.	24
Tabela 8 - Consistência de solo úmido e molhado de cada horizonte dos solos das voçorocas da sub bacia do Ribeirão Serra	26
Tabela 9 - Interpretação do Cálcio e Magnésio em solos do Cerrado.....	27
Tabela 10 - Composição química dos solos por horizontes das erosões Barreiro, Vendinha, Retiro e Capim, na bacia do Ribeirão Serra, Morrinhos, GO, 2017.	28

Capítulo 2

Tabela 1 - Pesos e variáveis aplicados aos mapas temáticos, para geração de áreas suscetíveis à erosão.	5
Tabela 2 - Notas estabelecidas para os componentes das variáveis a suscetibilidade à erosão.	6

INTRODUÇÃO

O meio natural passa por diversas transformações, devido às ações naturais e/ou antrópicas. Os resultados mais visíveis são a alteração do relevo, do solo e da vegetação. Com o decorrer do tempo houve a necessidade de estabelecer a expansão agrícola, resultando na utilização dos recursos naturais de maneira mais intensa.

A agricultura brasileira passou por diversas transformações e modernização nas últimas décadas do século XX, aumentando o desenvolvimento do país e a exportação de produtos agrícolas. A região do Cerrado, especialmente em Goiás tem sido diretamente impactada por essas transformações, devido sua localização geográfica e características físicas e ambientais que favorecem a produção agropecuária. Junto com o desenvolvimento da pecuária e monoculturas, surgem problemas ambientais causados pelo uso inadequado dessas áreas de produção.

As erosões são problemas ambientais mais recorrentes no meio natural, sendo um processo natural que movimenta o solo e modifica o relevo causando o desequilíbrio no meio ambiente. Áreas atingidas pelos processos erosivos apresentam características de alterações de paisagens, que dificilmente podem ser revertidas. Além disso, há a perda de produtividade, impactos negativos na economia e a da degradação ambiental. As causas desse impacto ambiental podem ser consequência de ações naturais, ações antrópicas ou os fatores combinados.

O município de Morrinhos está localizado na região sul de Goiás, sua economia é diretamente relacionada às atividades agropecuárias. Devido à expansão agrícola, o aumento sobre a utilização do solo, contribui enormemente para surgimento e aumento sobre as ocorrências erosivas devidas entre outros fatores, o desmatamento, movimentação de solo por meio de máquinas, implementos agrícolas e a criação de gado.

Foram selecionadas quatro voçorocas em áreas desmatadas e com exploração agropecuária, localizadas na sub-bacia do Ribeirão da Serra em Morrinhos, GO. O estudo foi realizado a partir de levantamentos topográficos, dados de sensoriamento remoto, e análise de composição físico-química de amostras de solo coletados nos taludes das erosões.

O presente estudo divide-se em dois capítulos, cujo objetivo principal do capítulo 1 consiste em: identificar e caracterizar, os fatores condicionantes que contribuíram para o surgimento e evolução de erosões classificadas como voçorocas na sub-bacia do Ribeirão Serra buscando, especificamente, caracterizar a formação e os processos pedogenéticos da área que compõe a referida sub-bacia, compreender por meio de análises física e químicas as

características dos solos presentes nos taludes das voçorocas, além das características do relevo e cobertura do solo da região e relacionar essas características aos processos erosivos. No capítulo 2, objetivou-se estudar a vulnerabilidade erosiva dos solos na parte sul da bacia Meia Ponte, por meio de análise multicritério, considerando a cobertura natural e antropizada da área de estudo. As informações relevantes utilizadas no trabalho foram os mapas de cobertura vegetal, proximidade de vias, relevo, solos e intensidade de chuvas. A análise multicritério foi aplicada considerando pesos a cada informação para análise da vulnerabilidade erosiva. A elaboração de mapas fisiográficos da área selecionada permitiu caracterizar e analisar as variáveis de suscetibilidade erosiva em condição natural e antrópica.

REVISÃO DE LITERATURA

Uso e ocupação do Cerrado

Nas últimas quatro décadas o Centro-Oeste brasileiro, passou por intenso processo de ocupação do solo advindo da urbanização e ampliação das atividades agropecuárias e conseqüentemente o surgimento de problemas ambientais, principalmente a degradação do solo e em alguns casos, surgimentos e evolução de processos erosivos. E como impactos diretos relacionados à erodibilidade dos solos, podem ser citados, o assoreamento de reservatórios e cursos de água e perdas de solos férteis, devido exploração da atividade agrícola (CARVALHO et al., 2006).

A produção agrícola além dos recursos naturais depende ainda dos tipos de transporte, sejam por rodovias, estradas secundárias/vicinais, caminhos, tanto para pré-produção (sementes, fertilizantes, defensivos agrícolas e outros), como a pós-colheita, com finalidade de escoamento da produção.

O traçado das estradas em muitos casos é influenciado pela declividade do terreno, especialmente quando o trajeto ocorre em áreas muito íngremes, contribui ainda mais para o escoamento superficial e desagregação do solo. As estradas construídas em solos argilosos ficam comprometidas em períodos chuvosos, como por exemplo, os atoleiros e a pista escorregadia. Já nos solos arenosos os defeitos mais comuns são corrugações, os areiões, buracos e os problemas de erosão (CUNHA, 2010).

A prática histórica da produção agrícola e pecuária no Brasil exige que sejam incorporadas novas áreas para possibilitar o aumento na produção, mas em contrapartida é necessário o desmatamento de formações florestais a medida que aumenta a demanda de alimentos, fibras e atualmente biocombustíveis (NUNES, 2015). Especialmente no Cerrado nos últimos anos a introdução da cultura de cana de açúcar tem contribuído para devastação da vegetação natural, cedendo lugar a produção sucroalcooleira, além da exploração de novas áreas para produção de soja, milho, algodão e pastagens.

Inicialmente a cana-de-açúcar substituiu culturas anuais, especialmente as voltadas para produção de grãos e em segundo plano avançou sobre as áreas de pastagens onde o solo tem maior aptidão agrícola (TRINDADE, 2005).

O Cerrado em sua maior proporção está ocupado com a produção agrícola e pecuária, o que tem causado perda de fertilidade do solo devido ao processo de remoção e transporte de partículas do solo (CARVALHO et al., 2006).

No geral, o aumento da produção agrícola é necessário para atender as necessidades alimentares da população e do mercado em geral, mas tal fato implica no desmatamento de novas áreas, resultando em mais impactos, seguidos pela redução de solos agricultáveis, que reduz a produção, diminui a oferta dos produtos agrícolas no mercado e, conseqüentemente, a elevação do preço dos produtos comercializados. Se não houver medidas de prevenção em relação ao aumento das áreas atingidas por erosões, dá-se a possibilidade em elevar a chance de escassez de alimentos para população e animais que dependem da produção agrícola (NUNES, 2015).

O uso do solo no cenário rural acarreta problemas ambientais especialmente o que se relaciona com a qualidade hídrica dos mananciais e que tendem a estar diretamente conectado às práticas de manejo do solo, o uso de insumos, o tráfego de máquinas, implementos e a irrigação. Todos esses, são atividades operacionais que sustentam a produção agrícola e que remetem a exploração do solo, da água e do clima (ASSIS et al., 2017).

No Centro Oeste do Brasil os Latossolos Vermelhos ou Vermelhos Amarelos de textura média, são propícios a diversas atividades agropecuárias. E a partir do desmatamento deu-se início a produção de lenhas, visando o aproveitamento da madeira para produção de carvão vegetal. Para o escoamento da produção agrícola, fez-se necessária a prática do desmatamento em alguns trechos a fim de possibilitar a abertura de novas estradas e rodovias (CASTRO, 2005).

O aumento de demanda da produção agrícola faz com que a vegetação original seja retirada, cedendo lugar a prática agrícola, muitas vezes até de forma desordenada, utilizando encostas íngremes, contribuindo para que o solo esteja mais suscetível aos processos erosivos devido às precipitações pluviométricas (LEPSCH, 2010).

Nunes (2015) afirma que, a maioria dos focos erosivos do tipo voçoroca em Goiás foi deflagrada a partir de 1980, mesmo que anterior a esse período, já existia esse tipo de impacto ambiental. Normalmente, as erosões surgem junto à estação chuvosa e em ambientes modificados pelo desmatamento intenso, onde a vegetação natural cedeu lugar para culturas de soja, milho e pastagens. A consequência da ocupação do solo tende a ser a alta discrepância entre o uso e a aptidão agrícola das terras, principalmente em áreas mais sensíveis associados a solos mais frágeis, como os arenosos, aumentando a possibilidade, de novos processos erosivos lineares de origem hídrica.

Fundamentos sobre o solo

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (SiBCS) da Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (Embrapa) define o solo a partir da superfície, considerando camadas ou horizontes paralelos, que se distinguem do material de origem inicial, como resultado de adições, perdas, translocações e transformações de energia e matéria, que ocorrem ao longo do tempo e sob a influência dos fatores clima, organismos e relevo (EMBRAPA, 2013).

A preocupação com a degradação dos solos nas últimas décadas tem sido discutida em várias partes do mundo, principalmente nas regiões tropicais úmidas e subúmidas, onde a erosão hídrica é a principal causa da degradação dos solos. Esse processo está diretamente relacionado ao intenso desmatamento concomitantemente à forte expansão das atividades agrícolas. O sistema intenso de produção rotineiramente rompe as práticas conservacionistas sobre a utilização do solo como meio de produção (NUNES, 2015).

Para Vargas (2015, p.29), o solo é proveniente da mistura de matéria de origem “mineral, composta por produtos físicos e químicos de meteorização das rochas e matéria orgânica, formada por resíduos mais ou menos decompostos dos vegetais e, em menor proporção, por restos e secreções de animais”. A composição mineral é composta por fragmentos de rocha, grânulos de areia e argilas.

O perfil do solo é composto por duas ou mais camadas horizontais, aproximadamente paralelas à superfície, são conhecidas como horizontes, constituídos de diferentes conjuntos de fenômenos biológicos, físicos e químicos em ação sobre a rocha. Os principais horizontes são identificados pelas letras (maiúsculas) O, A, B e C. Mas, não é obrigatoriamente que um perfil seja composto por todos os horizontes, podendo haver variações, principalmente quando o solo é mais desenvolvido o qual deve ser composto pelo horizonte B, ou ainda quando o solo é considerado pouco desenvolvido, evidenciado devido ausência do horizonte B (LEPSCH, 2010).

O horizonte O é conhecido como horizonte orgânico, composto por matéria orgânica formadas por restos de vegetação, como folhas e galhos que passam pelo processo de decomposição. São presentes em solos não ou pouco removidos pela agricultura.

O horizonte A normalmente é a camada mais escura com elevada quantidade de húmus e apresenta dominância de mineral e composição de matéria orgânica. O horizonte eluvial ou horizonte E apresenta coloração mais clara motivada pela perda de argila e óxidos de ferro para o horizonte B.

Esse horizonte B é caracterizado pelo máximo desenvolvimento de cor, textura e consistência, ainda apresenta maior concentração de composto de ferro e argilo-minerais e menor quantidade de matéria orgânica. Essas características do horizonte B fazem parte do processo de infiltração da água no solo, quando remove materiais dos horizontes A e/ou E, gerando acúmulo de materiais no B. No horizonte C normalmente a rocha ainda está pouco alterada pelos processos pedogenéticos e apresenta características morfológicas mais semelhantes ao material de origem (LEPSCH, 2010).

Para Das (2011), os solos são produtos de intemperismo das rochas podendo ocorrer devido desintegração mecânica e/ou pela decomposição química. O intemperismo mecânico é quando ocorre a contração ou expansão da rocha, causada pela perda ou ganho de calor. Enquanto o intemperismo químico ocorre quando os minerais originais da rocha sofrem reações químicas e transformam-se em novos minerais. Essas transformações ocorrem principalmente devido a reação quando a água e o dióxido de carbono (presente na atmosfera) se misturam e formam o ácido carbônico que reage com os minerais originais, compondo novos minerais e sais solúveis. Esse processo de intemperismo pode estar ligado tanto às rochas sedimentares, quanto às metamórficas.

O intemperismo resulta na desagregação de sedimentos que normalmente são transportados para outros lugares, por meio da ação do vento, gravidade e principalmente do escoamento da água. A intensidade do escoamento aumenta o índice de remoção de partículas do solo e inicia-se a formação de pequenas erosões que pode ser a partir de pequenos sulcos e seguir para evolução de grandes erosões, como ravinas e voçorocas, dependendo da profundidade e resistência da rocha.

A composição do solo indica sua resistência quanto aos impactos potencialmente causados pelas chuvas. Compreende que solos classificados como arenosos e siltosos são mais vulneráveis aos processos de erosões, em comparação a solos argilosos, que são mais resistentes (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005).

A vulnerabilidade à erosão é determinada pelas características do solo, considerando: textura, estrutura, consistência, conteúdo de matéria orgânica e desenvolvimento do perfil, (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005, CASTRO et al., 2004; SALOMÃO, 1999).

A densidade do solo e a umidade são condicionantes junto à chuva para causa de erosões, igualmente o manejo por meio do uso e ocupação do solo. Todos esses elementos juntos contribuem para formação de diferentes tipos de erosões.

Erosões lineares: sulcos, ravinas e voçorocas

A erosão dos solos é um grave problema ambiental de abrangência mundial e ocasiona inúmeros prejuízos à sociedade e meio ambiente. O processo erosivo é um fenômeno que ocorre a milhões de anos, antecedendo o surgimento do homem na Terra, causam impactos e transformações na modelagem da superfície do solo e alteração nas rochas sedimentares (BRAGHIROLI, 2017).

As erosões podem ser desencadeadas de forma natural devido à área possuir características suscetíveis a esse processo, dependendo apenas de fatores naturais como a precipitação, escoamento superficial, cobertura vegetal e a declividade. Todos influenciados pela ação da água sobre o solo. A erosão acelerada ocorre devido intensificação do potencial erosivo em conjunto com a ação antrópica sobre o terreno e, principalmente, ao manejo inadequado do solo (SILVA; MACHADO, 2014).

O processo de esculturação do relevo é um dos principais responsáveis pela modificação da paisagem. Em cada região há variação sobre os impactos que ocasionaram o processo erosivo, que ocorre principalmente das oscilações climáticas em conjunto com diferentes características geomorfológicas, geológicas e pedológicas (NUNES, 2015).

A água, o vento ou o gelo, são os principais agentes que deflagram os processos erosivos, recebem as respectivas denominações: erosão hídrica, eólica e glacial. No Brasil o tipo de erosão mais atuante é a erosão hídrica, especialmente pela predominância do clima tropical (SILVA; MACHADO, 2014).

A ação das águas pluviais em decorrência das chuvas causa a desagregação e transportes do solo, além de transporte de elementos químicos solúveis por meio do processo de infiltração de água, tornando o solo mais propenso à desagregação, seguido pelo surgimento de erosões (OLIVEIRA; SOUSA, 2012).

O fenômeno erosão normalmente acarreta prejuízo social e ambiental, muitas vezes irreversíveis, reflete negativamente para perda de produtividade agrícola e pecuária devido a grandes perdas de solo, tornando a área erodida improdutivo. Outro grande problema é o assoreamento de mananciais e reservatórios que servem principalmente para abastecimento urbano, irrigação e dessedentação de animais.

A erosão hídrica “consiste no desprendimento e transporte de partículas e elementos nutritivos do solo a partir da ação das gotas de chuva, seja ao impactar o solo e cair, seja pelo escoamento superficial” (SILVA; MACHADO, 2014 p.80).

A continuidade da ação das águas pluviais desenvolve “o escoamento superficial

laminar ou concentrado, pode gerar processos erosivos laminares ou entressulcos, ou ainda, erosões lineares denominadas de sulcos, ravinas ou voçorocas” (OLIVEIRA; SOUSA, 2012, p.43).

A erosão é iniciada principalmente pela remoção da cobertura vegetal, e de outros fatores naturais como o relevo, pluviosidade, tipo de solo e granulometria (BIGARELLA, et al., 2003).

A gênese e a evolução de erosões lineares se iniciam a partir do escoamento superficial, quando os solos saturados não conseguem absorver toda água. Esse escoamento de água forma pequenos canais bem definidos (GUERRA, 2007; OLIVEIRA; SANTOS 2006; SALOMÃO, 2007). E o aprofundamento desses canais formam sulcos que podem expandir para ravinas e voçorocas (GUERRA, 2007).

As erosões lineares modificam visivelmente a paisagem, normalmente se apresenta como “rasgos” de tamanhos e profundidades variadas. São mais conhecidos como sulcos, considerado erosão de menor porte e as erosões de maiores portes são denominadas por ravinas e voçorocas

A erosão linear em forma de sulcos pode ser desfeita com utilização de máquinas agrícolas para terraplanagem (CARVALHO, 2006). Já nas voçorocas dificilmente alguma máquina conseguirá acessar a erosão devido profundidade mais elevada, sendo possíveis apenas medidas de contenção na parte externa como levantamento de terraços.

A evolução das feições erosivas lineares ocorre por meio do fluxo concentrado de água oriunda do escoamento superficial a partir de precipitações. Podem ser classificadas como sulcos, ravinas e voçorocas, tendo como variação o parâmetro profundidade (GUERRA, 1994).

Para Guerra (2007), existem várias classificações no mundo sobre os limites de profundidade e largura que possibilitam diferenciar ravinas e voçorocas. Oliveira (2012) discute a diferenciação entre ravinas e voçorocas, considerando que ravinas resultam do escoamento superficial e para ser voçoroca deve ser classificada a partir do afloramento do lençol freático ao fundo da incisão. Para Bigarella et al., (2007), sulcos e ravinas são incisões no solo que ocorrem devido ao fluxo concentrado de água, motivado pela dificuldade de absorção de água do solo, propiciando a remoção de partículas de solo por meio de intenso fluxo de água do escoamento superficial.

A erosão hídrica compreende um fenômeno que envolve a dinâmica de remoção, transporte e deposição de sedimentos compostos por materiais de origens diversas. Os processos erosivos hídricos são influenciados pelo comportamento climático, determinantes

no quantitativo e tempo de duração das precipitações pluviométricas. E sobre os solos a capacidade de resistir aos impactos das gotas de chuvas (NUNES, 2015).

Os tipos de erosões variam conforme sua formação e dimensão, com ou sem a influência antrópica que tenha contribuído para instalação dos processos erosivos, independente da localização urbana ou rural.

As erosões passam a ser preocupantes pelas pessoas quando atinge grandes dimensões e profundidade, sendo as mais complexas, as ravinas e voçorocas haja vista a inutilidade da área afetada, perda de produção e riscos de queda de pessoas e animais que transitam próximos a borda da erosão. Para Bigarella et al., (2007) os sulcos surgem a partir de pequenos filetes por meio da remoção de detritos do solo ao longo de seu curso e evoluem à pequenas intrusões erosivas.

Lafayette (2011) classifica a erosão em sulcos como a segunda fase evolutiva do processo físico da erosão hídrica do solo. Nessa fase o escoamento passa de difuso para concentrado e com a contribuição de pequenas depressões, o escoamento ocorre com maior tensão, elevando a capacidade de remoção de agregados do solo e formando pequenos canais na superfície.

A erosão em forma de ravina corresponde a sulco mais aprofundado devido ao aumento do fluxo do escoamento superficial concentrado. Costuma considerar como ravinas, incisões erosivas superiores a 50 cm de profundidade, envolvendo maior movimento de massa e alargamento de sua lateral e aumento em seu comprimento (NUNES, 2015).

Entende-se por ravinas, os resultados oriundos do aumento das dimensões do raio hidráulico e do perímetro molhado dos sulcos de erosão pela ação contínua de cisalhante do escoamento. Ressalta ainda que essas feições erosivas ocorrem a partir do processo de escoamento superficial concentrado, provocando a desagregação do solo (LAFAYETTE, 2011).

O estágio mais avançado das erosões é denominado de voçorocas, normalmente apresentam fundos chatos e associados à interceptação do nível do lençol freático. Apresentam taludes íngremes, podem ser diferenciados com vale em formato de “U” ou “V”, variando de acordo com a parte inferior do talude, se tem curvatura mais suavizada ou não (FRENDRICH, 1997 *apud* GUIMARÃES 2008).

Castro (2005, p.56) afirma que as voçorocas são produtos de uma “dinâmica pedohidrológica complexa multifatorial”, com possibilidade de reativação dependendo do controle litoestrutural.

Guerra (1994) e Salomão (1999) denominam erosão de voçoroca somente quando atinge o lençol freático ocorrendo a exfiltração da água em forma de nascentes (NUNES, 2015). Para Guerra (2007), as voçorocas tem fluxo de água no seu interior devido ao período chuvoso e dependendo da profundidade pode atingir o lençol freático.

A formação de voçoroca está diretamente condicionada à suscetibilidade dos solos e do relevo, especialmente em áreas côncavas com declividades de até 12%. A evolução das erosões hídricas favorecem fluxos por meio do escoamento superficial e subsuperficiais concentrados e convergentes para a base das vertentes (CASTRO, 2005).

Quando a voçoroca torna-se mais profunda tende a contribuir para o movimento de massa por meio de desabamento e deslizamento dos taludes e esse processo proporciona o alargamento da erosão. O surgimento e avanço da voçoroca pode ocorrer em áreas rurais comprometendo a área de produção e pode ocorrer em áreas urbanas, colocando em risco a vida da população, comprometendo ruas e edificações (NUNES, 2015).

A utilização do solo para produção agrícola de modo contínuo sem a reposição de nutrientes ou manejo correto faz com que a produtividade do solo seja rapidamente diminuída, a partir da remoção de nutrientes. Causando transtornos aos setores produtivos e obrigando o produtor rural a abandonar a área e procurar outra agricultável.

O principal dano causado ao solo pelo processo erosivo é o processo de desagregação e transportes de matéria, seja solo, nutrientes, sedimentos ou rochas (NUNES, 2015). Causa o empobrecimento do solo e a perda de fertilidade devida remoção da matéria orgânica encontrada principalmente no horizonte A. Assim a vegetação (quando exigente) tende a diminuir em quantidade e variedade.

A topografia e os processos erosivos

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2005) as gotas das chuvas em primeiro contato com a superfície do solo, favorece o desprendimento das partículas do solo, posteriormente exerce o transporte dessas partículas e gera energia por meio da turbulência na água superficial.

A declividade dos terrenos tem sido estudada em diferentes perspectivas e considerando diferentes extratos para descrever a vulnerabilidade, como pode ser visto na sequência os trabalhos da Embrapa (1999) e Trindade (2005).

Para Embrapa (1999), as classes de declividade são as seguintes:

- 0-3% trata-se de relevo plano com topografia horizontal com desníveis pouco significantes;
- 3-8% caracteriza um relevo suavemente ondulado, cuja topografia é pouco movimentada e declive suave;
- 8-20% corresponde ao relevo ondulado, cuja topografia é pouco movimentada com declives moderados;
- 20-45% sugere ao relevo fortemente ondulado, com topografia pouco movimentada e forte declive;
- Acima de 45% indica superfície de topografia vigorosa, formas acidentadas, desnivelamentos acentuados e declives fortes.

Para Trindade (2005) também destaca que a declividade do terreno é um dos condicionantes à erosão. Considera que os relevos

- planos variam de 0-6% apresenta poucos riscos a erosões e pode ser contida seu avanço com práticas conservacionistas simples, sem necessidade de obras;
- os relevos suavemente ondulados de 6-12% - apresentam maior risco ao surgimento de sulcos e voçorocas. E podem necessitar de medidas conservacionistas simples. Possui restrição à mecanização;
- os relevos ondulados de 12-20% - são áreas com maior nível de declividade, considerada moderada. Necessita de práticas de controle de erosão, sobretudo de voçorocamento. Apresenta forte suscetibilidade a erosão, necessitando de técnicas moderadas de manejo e conservação do solo;

- os relevos fortemente ondulados de 20-45% - são relevos com alta suscetibilidade erosiva e restrições quanto às práticas de agriculturas, sendo inviável ambientalmente e economicamente;
- Em áreas com declividade > 45% são consideradas inaptas ao uso agrícola e altamente susceptível às erosões, recomenda-se a conservação ambiental.

O relevo por meio da declividade, desnível altimétrico, curvaturas, formas e comprimento das encostas, influencia a velocidade do escoamento superficial (IPT, 1986; SALOMÃO, 1999; BERTONI, LOMBARDI NETO, 2005). O comprimento das encostas mais elevadas ou rampas mais longas aumentam a energia cinética em ocorrência à intensa precipitação de chuvas e assim alimentam a força das enxurradas e a capacidade de remoção de partículas do solo. Essa concentração de fluxo incorporado à inclinação do terreno aumenta a suscetibilidade aos processos erosivos.

As áreas de topografia mais inclinadas são mais suscetíveis aos processos erosivos do que as planas, pois quanto mais acentuada a inclinação do terreno, maior velocidade do escoamento superficial (LEPSCH, 2010).

A força gravitacional em conjunto com os fenômenos climáticos influenciam os processos erosivos, principalmente quando relacionados às precipitações pluviométricas, pois quando a chuva é intensa (tempo de duração e quantidade), o escoamento de água (enxurrada) causa o desprendimento das partículas dos solos e remoção de grandes quantidades de solo. Esse processo se agrava quando ocorre em encostas, pois é propício a movimentos de massa.

Movimentos de massa

Movimento de massa na Voçoroca do Barreiro (Figura 1), situada por meio das coordenadas geográficas 17° 37' 50" de latitude sul e 49°13'25" de longitude oeste, altitude de 625 metros. Esse fenômeno pode ser denominado como deslizamento, escorregamento, ruptura de talude, queda de barreiras e outros. Ocorre devido à descida de solos e rochas por força gravitacionais potencializadas pela ação da água e por condições naturais do terreno (BRASIL, 2009).

São fenômenos naturais que podem ser influenciados pela ação antrópica, e em alguns casos a remoção da vegetação desestabiliza o terreno e passa a ocorrer deslizamentos e em outros casos, mesmo com a vegetação conservada esse fenômeno pode ocorrer. Estão relacionados às chuvas que ocorreram no dia anterior ou mesmo durante longa precipitação

pluviométrica, ou seja, o acúmulo de água no solo aumenta o peso e a ação da força de gravidade.

A saturação do solo ocorrerá com maior infiltração. Quando a precipitação é maior que a capacidade de infiltração, potencializa-se o escoamento superficial e a ocorrência de erosão de superfície.

Figura 1 - Exemplo de movimento de massa em área de pastagem na Voçoroca do Barreiro



Fonte: O autor.

Nos movimentos de massa ocorre um movimento coletivo de solo e/ou rocha em forma de escorregamento, trata-se de movimento rápido, normalmente a concentração de água no solo, formação geológica e descontinuidade hídrica, são fatores que desencadeiam a ocorrência dos movimentos de massa. Esse processo impacta diretamente com risco à vida humana e as construções devido desestabilidade das áreas povoadas (VARGAS, 2015).

Esse movimento é um fenômeno natural que ocorre normalmente em vertentes e contribui para a modelagem do relevo. Esse processo pode ser resultante da ação contínua do intemperismo e dos processos erosivos. Ainda podem ocorrer devida ações antrópicas, principalmente devido ocupação irregular de encostas, desmatamento e corte de taludes. Essas ações alteram as características naturais do terreno, causando um desequilíbrio local.

O relevo e as vertentes com declividade até 30% indicam o limite tolerável para o uso e ocupação do solo e acima desse percentual, é considerada área imprópria para uso, a situação se torna ainda pior caso o terreno tenha sido desmatado, deixando as vertentes expostas e mais suscetíveis ao movimento de massa, que pode variar entre movimentos lentos e/ou rápidos e a curto, médio ou longo prazo (VARGAS, 2015).

À medida que o solo se apresenta mais saturado após intenso evento pluviométrico, a taxa de infiltração diminui, fazendo com que quase toda água disposta da chuva escoe na superfície do solo com intensa velocidade e quantidade, contribuindo para remoção das partículas em pequenas depressões, levando à formação, desde pequenos sulcos, até grandes erosões, consequência dos intensos movimentos de massa. Christopherson (2012) explica que movimento de massa aplica-se a qualquer movimento unitário de um corpo de um material acionado e controlado pela gravidade. E refere-se ainda à perda de massa associada ao desgaste de uma vertente.

Práticas de controle e recuperação

A definição dos métodos e práticas de prevenção à erosão varia de acordo com os aspectos ambientais de cada propriedade e região. Para uma prevenção apropriada a fim de evitar processos erosivos, é necessária a adoção simultânea de um conjunto de práticas (GUERRA et al., 2007).

As medidas preventivas visam evitar o início de processo erosivo e ainda têm como objetivo minimizar o processo de ocorrências erosivas. Essas medidas são o conjunto de ações executadas após a existência de uma erosão. Ou seja, é uma ação após a ocorrência da erosão e visa minimizar danos ambientais e interromper a sua evolução. Partindo de medidas de estabilização e seguidas por medidas de recuperação.

A motivação principal para a conservação do solo é mantê-lo como um recurso permanente e útil, visto a dependência da população de produtos provenientes do solo. Após a formação de uma voçoroca, as práticas de controle e recuperação mesmo caras e onerosas devem ser aplicadas. Dentre os vários procedimentos que podem ser utilizados, destacam-se três como os mais importantes: i) controle, ii) reforma da voçoroca para conferir uma topografia aceitável e iii) inserção de vegetação protetora. No caso de voçorocas maiores, se faz necessária a construção de terraços ou tanques acima delas para contenção da água, porém, em casos extremos, apenas terraços não bastam, também são implantadas estruturas de concreto (BAIRD e CANN, 2011).

Para correções de feições erosivas do tipo linear, sulcos e ravinas rasas, os procedimentos mais comuns, são os métodos de conservação do solo a partir do controle do escoamento das águas superficiais e o controle da cobertura do solo com vegetação, não o deixando exposto ao processo erosivo. (CARVALHO et al., 2006):

A cobertura vegetal da superfície do solo torna-o mais resistente aos processos erosivos e auxilia na estruturação do solo, na redução da velocidade das águas superficiais e na regularização da infiltração (IPT, 1990).

Castro (2005) recomenda a preservação da cobertura vegetal dos topos e fundos de vales, preferencialmente com plantas nativas de crescimento rápido. Ressalta a importância de conter o avanço das voçorocas com obras a fim de controlar o fluxo hídrico para minimizar o risco de desequilíbrio pedológico. Recomenda ainda adequações de estradas, construção e manutenção de cercas de divisas de pastos e de propriedades, além do manejo adequado das pastagens, fazendo uso com moderação, evitando o super pastoreio.

Para conter uma erosão é essencial um planejamento de desvio ou contenção da água por meio de terraços. “O terraceamento baseia-se no parcelamento das rampas, ou seja, é um método em dividir uma rampa comprida (mais sujeita à erosão) em várias rampas menores (menos sujeitas à erosão), por meio da construção de terraços”. Os terraços têm a finalidade de reter e infiltrar, ou escoar a enxurrada lentamente para minimizar o poder erosivo. “Permite a contenção de enxurrada, forçando a absorção da água da chuva pelo solo” (EMBRAPA, 2017, p.2)

O terraço deve sempre estar em bom estado de conservação a fim de minimizar o risco de seu rompimento devido à força da enxurrada. O rompimento do terraço permite o escoamento do fluxo de água retida em direção ao terraço abaixo, que também já estaria comprometido com a água por ele acumulada. Essa soma de forças entre águas dos dois terraços provocam a ruptura do próximo e assim sucessivamente, provocando a remoção da superfície do solo e do subsolo por onde essa enxurrada seguir, possibilitando o surgimento de erosões, seja ela: sulco, ravina ou voçoroca.

A declividade é um dos fatores que influenciam o escoamento da água sobre a superfície em conjunto com a capacidade de infiltração de água pelo solo que pode ocorrer devido à impermeabilização do mesmo ou estrutura grumosa adensada. Para Primavesi (2002, p.241), “95% da erosão se deve à má infiltração de água e somente 5% ao declive do terreno”.

Se por algum motivo houver a necessidade de remoção da vegetação de alguma área, esse processo deve ser realizado aos poucos, sempre tomando precaução para manter parte da cobertura “morta” sobre o solo, funcionando como uma espécie de cobertor para proteger a superfície do terreno, evitando a remoção de agregados do solo.

A parte superior da voçoroca é onde concentram maiores quantidades de água, sendo, portanto, mais importante a preservação da vegetação nessa área. Para Bertoni; Lombardi (2012) é mais eficiente plantar gramíneas e arbustos de crescimento denso. A

vegetação mais utilizada na proteção de voçorocas são as gramíneas, como o capim- azul (*Dactylis glomerata*) e o capim –quicuío (*Pennisetum clandestinum*) e leguminosa como o cudzu (*Pueraria thumbergiana*).

Existe a recomendação de alguns pesquisadores sobre utilização do capim Ventiver (Figura 2) conhecido como *Vetiveria zizanioides*, e posteriormente reclassificado como *Chrysopogon zizanioides* (CHAVES; ANDRADE, 2013). Esse capim em fase adulta mede entre 1,5 e 2,0 metros de altura, possui colmos eretos e tolerantes ao fogo, geadas e pisoteio de animais. Outra vantagem dessa espécie no controle de erosões é a profundidade que sua raiz pode atingir, chegando a até 5 metros de profundidade, ou seja, tendem a aumentar a estabilidade do terreno.

Figura 2: Planta de Capim vetiver (*Vetiveria Zizanioides*)



Fonte: Chaves; Andrade, (2013)

Quando a construção de terraços não for viável, utiliza-se as barragens para retenção de água no solo da voçoroca e também controle da sedimentação. Pode ser construída com blocos de rochas soltas ou gabiões, essa estrutura impede a concentração de enxurrada. As barragens devem ser construídas com altura aproximada a 0,50 metros e localizadas em intervalos regulares dentro da voçoroca. A também a utilização de tela de arame, madeira e galhos de árvores.

Técnicas de Geoprocessamento para recuperação de erosões

A execução de trabalhos com finalidade de recuperação de erosões exigem técnicas e projetos específicos e apropriados para cada tipo de situação, considerando o tipo de solo e análises de quais outros fatores foram condicionantes ao processo.

Para Silva; Machado (2014), as técnicas de Geoprocessamento são relevantes para análises geomorfológicas, permitindo mapeamento temático relacionado às diversas variáveis ambientais e a identificação de áreas propensas à ocorrência erosiva. Permite ainda, melhor análise e elaboração de propostas mais viáveis para controle de processos erosivos.

A tecnologia do geoprocessamento contribui na tomada de decisões para o planejamento ambiental e o gerenciamento dos recursos naturais. Para Nascimento (2005), o geoprocessamento é uma metodologia alternativa viável que permite integrar informações cartográficas e tabular por meio da análise ambiental as correlações espaciais, relações de causa e efeito e aspectos temporais, auxiliando de maneira decisiva a investigação da adequação do uso da terra em áreas de preservação permanentes.

A suscetibilidade erosiva depende de vários fatores, sendo o geoprocessamento uma ferramenta importante para conhecer as características físicas (litologia, geomorfologia, pedologia, rede de drenagem e vegetação) de determinada bacia que contribui para compreensão das condicionantes que tornaram a área vulnerável a erosão. Para Silva; Machado (2014 p.78), “O Geoprocessamento consiste em um conjunto de técnicas e metodologias em ambiente computacional que permite analisar, espacialmente informações geográficas”. Relacionam-se diretamente com as ciências Cartográficas, Geodésicas, Topográficas, Sistemas de Informações Geográficas, Sensoriamento Remoto e outras.

O Sistema de Informações Geográficas (SIG) é uma das técnicas mais ampla e completa do Geoprocessamento, permite o armazenamento automatizado, tratamento e manipulação de grande quantidade de informações espaciais. É uma importante técnica para estudos ambientais em constante integração e atualização de dados espaciais e alfanuméricos que possibilitam a análise de fenômenos em diferentes escalas, ainda permite simular situações e planejamento ambiental para tomada de decisões (PINA, 1998).

Com a utilização do SIG, “são desenvolvidos e elaborados mapas de suscetibilidade erosiva” por meio do processamento de base de dados existentes e informações tratadas a partir da metodologia de análise de multicritério que consiste “em um procedimento metodológico de cruzamento de variáveis amplamente aceitas nas análises espaciais” (ASSIS et al., 2017, p.2).

Os problemas ambientais atualmente já não são encarados como problemas apenas naturais, pois a relação do homem sobre a natureza contribui para que essa problemática passa a ser socioambiental, tendo em vista as transformações do ambiente junto à interação da sociedade e o meio. A espacialização de informações de fenômenos e riscos diversos pela ação natural ou antrópica, ganha contribuições significativas das geotecnologias e do SIG com informações e “relação sistêmicas de maneira automatizada, rápida e dinâmica” (SILVA; MACHADO, 2014 p.79).

Para Sousa (2010), o uso de técnicas de geoprocessamento com a utilização de SIGs, permite análises mais complexas e completas sobre um fenômeno erosivo em menor tempo de pesquisa.

A partir do diagnóstico ambiental é possível fazer projeções futuras dos impactos sobre o meio. Esse processo é denominado como prognóstico ambiental, ou seja, é a etapa de análise dos impactos.

O SIG pode ser aplicado na análise ambiental com mapeamento temático diagnóstico e avaliação ambiental, além dos prognósticos ambientais. As análises são feitas de maneira integrada e baseada na combinação de atributos de diferentes variáveis considerando suas características separadamente. Em caso de estudo de erosão é analisado as potenciais da suscetibilidade erosiva. É importante destacar que “os resultados eficazes obtidos pelo SIG são alcançados apenas com a pesquisa e coleta de dados confiáveis, por parte do usuário, em projeções e escalas compatíveis de maneira que não haja distorção das informações” (SILVA; MACHADO, 2014 p.85).

As técnicas de geoprocessamento amplamente utilizadas como suporte para o planejamento e controle de ocorrências erosivas contribuem para definição adequada das práticas de controle e recuperação de áreas erodidas ou propensas à erosão, que visam minimizar os danos ambientais e perda de produtividade do solo. Além das características físicas e químicas, o surgimento de erosões é decorrente, também, do uso e ocupação do solo, evidenciando a necessidade de estudos que contemplem técnicas de prevenção, controle e recuperação de áreas erodidas.

REFERENCIAS

ASSIS, A. P. O.; GIONGO, P. R.; SILVA, J. H. T.; PESQUEIRO, M. A.; GOMES, L. F.; Suscetibilidade erosiva da bacia hidrográfica do córrego da Formiga, Quirinópolis/GO. **Revista Espacios** [on-line]. v.38. n.42. Caracas, Venezuela. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **11682** – Estabilidade de encostas. Rio de Janeiro, 2009.

BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental**. ed. 4. Porto Alegre: Bookman, 2011. 844p.

BERTONI, J. LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. ed. 5. Ícone: São Paulo, 2005. 355p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. ed. 8. São Paulo: Ícone, 2012. 355 p.

BIGARELLA, J. J.; PASSOS, E., HERMANN, M.L.P., SANTOS, G.F., MENDONÇA, M., SALAMUNI, E. SUGUIO, K. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis; Ed. UFSC, v. 3, p. 877-1436. 2003.

BIGARELLA, J. J; BECKER, R. D; SANTOS, G. F. dos. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: UFSC. v II. 2007.

BRAGHIROLI, T. L. P.; **Implicações naturais e antrópicas responsáveis pelo desencadeamento de feições erosivas no Parque do Goiabal em Ituiutaba (MG) Catalão, GO**. Originalmente apresentada como Dissertação de Mestrado (Programa de Pós Graduação em Geografia), Universidade Federal de Goiás, 2017. 171p.

CARVALHO, J. C., SALES, M. M.; SOUZA, N. M.; MELO, M. T. S. **Processos Erosivos no Centro Oeste Brasileiro**. Editora FINATEC, 2006.

CASTRO, S. S. de.; XAVIER, L. de. S.; BARBALHO, M. G. da. S (Org.). **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. 75 p.

CASTRO, S. S. Erosão Hídrica na Alta Bacia do Rio Araguaia: Distribuição, Condicionantes, Origem e Dinâmica Atual. **Revista do Departamento de Geografia**. v.17 p. 38-60, 2005.

CHAVES, T.A.; ANDRADE, A.G. Capim Vetiver - Produção de mudas e uso no controle da erosão e na recuperação de áreas degradadas. **Manual Técnico 39**, Niterói, Programa Rio Rural, 2013.

CHRISTOPHERSON, R. **Geossistemas: uma introdução à geografia física**. 7ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

CUNHA, M. C. **Caracterização das estradas rurais não pavimentadas como elementos presentes na paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio das Pedras, Guarapuava, Paraná**. Rev. GEOMAE Campo Mourão, PR v.1, n.2 p.73 – 91, 2010.

DAS, B. M. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. Traduzido por EZ2 Translate. São Paulo: Cengage Learning. 7 ed. 2011. 610 p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2ª edição. Rio de Janeiro: EMBRAPA – SPI, 2006.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro. EMBRAPA-CNPS, 1999.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Levantamento e Conservação do Solo**; Práticas Conservacionistas de Solos e Águas, 2017. Disponível em: <<http://www.cpatc.embrapa.br/conservasolo/imagens/9.pdf>>. Acesso em: 14 de janeiro de 2018.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solos** 2ª edição. Rio de Janeiro: EMBRAPA – SPI, 2011. 230p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. M. G. (orgs). **Erosão e Conservação do Solo: Conceito, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 3ed. p.17-50. 2007.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T., CUNHA, S. B. (Orgs) **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, p. 149-199. 1994.

GUIMARÃES, C. N. **Mapeamento Geotécnico da bacia do Córrego da Barra, aplicação do penetrômetro de impacto em estudos de processos erosivos São Pedro – SP escala 1:10.000**. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos, 2008.

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**. São Paulo: IPT. 1986. 6 p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Orientações para o combate à erosão do estado São Paulo, Bacia do Pardo Grande**. IPT. Relatório, 28:184. v.3, São Paulo, 1990.

LAFAYETTE, K.P.V.; CANTALICE, J.R.B.; COUTINHO, R.Q. Resistência à erosão em ravinas, em Latossolo argilo arenoso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.2167-2174. 2011.

LEPSCH, I. F; **Formação e Conservação dos solos**. ed. 2. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

NASCIMENTO, M. C.; SOARES, V. P. Uso do Geoprocessamento na Identificação de Conflito de Uso da Terra em Áreas de Preservação Permanente na Bacia Hidrográfica do Rio Alegre, Espírito Santo. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 15, n. 02. p. 207-220. 2005.

NUNES, E. D. **Modelagem de Processos Erosivos Hídricos Lineares no Município de Mineiros – GO**. Goiânia, GO, 2015. Tese de Doutorado do Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Goiás, Instituto de Estudos Socioambientais (IESA), 2015. 161p.

OLIVEIRA, M. A. T. de. **Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçoroca**. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. M. (orgs.) **Erosão e Conservação dos solos: conceitos temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.

OLIVEIRA. A. G; SOUSA. A. T; Especificidades das precipitações pluviométricas na microrregião meia ponte no sul de Goiás e sua relação com a ocorrência de processos erosivos. In: SILVA. M. V; PESQUERO. M. A (Orgs). **Caminhos interdisciplinares pelo ambiente, história e ensino: o sul goiano no contexto**. Uberlândia (MG): UEG (Morrinhos); Assis Editora, 2012. p. 31-48

PINA, M. F. R. P. Potencialidades dos sistemas de informações geográficas na área da saúde. In: NAJAR, AL., and MARQUES, E. C., orgs. **Saúde e espaço: estudos metodológicos e técnicas de análise** [online]. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 1998. Cap.6, p.125-133.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 2002. 549 p.

SALOMÃO, F. X. de. T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. (Org.). **Erosão e conservação dos solos – conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. cap. 7, p. 229-267.

SILVA, V. C.; MACHADO, P. S. “SIG na análise ambiental: suscetibilidade erosiva da bacia hidrográfica do córrego Mutuca, Nova Lima – Minas Gerais”. **Revista de Geografia**. v. 31, n. 2, p. 66-87. 2014.

TRINDADE, S. P. **Aptidão agrícola, mudanças de usos dos solos, conflitos e impactos diretos e indiretos da expansão da cana-de-açúcar na região sudoeste goiano**. Goiânia, GO. Tese de Doutorado, (Programa de pós graduação em Ciências Ambientais) Universidade Federal de Goiás, 2015. 187p.

VARGAS, L.V. **Suscetibilidade a movimentos de massa: um estudo geomorfológico na sub-bacia hidrográfica do Rio Vacacaí Mirim a montante da barragem do DNOS, em Santa Maria/RS**. Santa Maria RS. Dissertação de mestrado (Programa de pós-graduação em Geografia). Universidade Federal de Santa Maria. 2015. 132p.

CAPÍTULO 1

CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DE VOÇOROCAS NA SUB-BACIA DO RIBEIRÃO SERRA EM MORRINHOS-GO

RESUMO

O estudo buscou identificar, caracterizar e analisar os fatores condicionantes para o surgimento e evolução de quatro voçorocas na sub-bacia do Ribeirão Serra no município de Morrinhos – GO. Foram utilizadas informações da formação da área que compõe a sub-bacia, as características dos solos por meio de análises físicas e químicas, e a relação dos processos erosivos em conjunto a informações sobre a topografia e o uso do solo. O trabalho inicialmente aborda sobre os processos erosivos, a problemática do uso inadequado do solo, a situação atual da área em estudo, as principais características e consequências à evolução da formação das voçorocas. Os resultados relacionados ao uso e ocupação do solo, a topografia de cada área e a composição física e química dos solos, permitem identificar os fatores de surgimento e evolução das voçorocas analisadas.

Palavras-chave: sub-bacia, erosão, voçoroca, solo.

INTRODUÇÃO

O município de Morrinhos está localizado na região sul de Goiás, pertence à Microrregião Meia Ponte, a principal atividade econômica é direcionada à produção agrícola e pecuária e boa parte dessa produção é processado na própria cidade pelas agroindústrias nela instaladas. Para atender a demanda de alimentação da população e abastecimento dessas agroindústrias, houve a necessidade da expansão agrícola, havendo assim interesse sobre a utilização de novas áreas para a produção.

As áreas ocupadas atualmente com a produção agrícola e pecuária sofreram processo de desmatamento e, a partir desse momento, os solos dessas áreas de produção passaram a ser manejados por máquinas e implementos agrícolas com finalidade em alcançar melhor produtividade, considerando a capacidade de remover e misturar os horizontes mais próximos à superfície. Normalmente a utilização de máquinas pesadas contribui para compactação do solo. Devido a essas transformações, houve modificação da paisagem, onde a vegetação nativa cedeu lugar para grandes lavouras e extensa área de pastagens.

As atividades agropecuárias executadas em solos de baixa aptidão aceleram os processos de degradação, especialmente quando há utilização e mecanização agrícola, deixando o solo exposto ao fluxo de água na superfície, que provoca o carreamento de sedimentos afetando a qualidade da água e desencadeamento de assoreamento (ASSIS et al., 2017).

Nas regiões onde se predomina a agricultura mecanizada ou convencional, os solos ficam expostos às ações atmosféricas a partir do preparo de solo e entre o período de pós-colheita e até o novo plantio seguido pelo crescimento das plantas (OLIVEIRA e SOUSA, 2012).

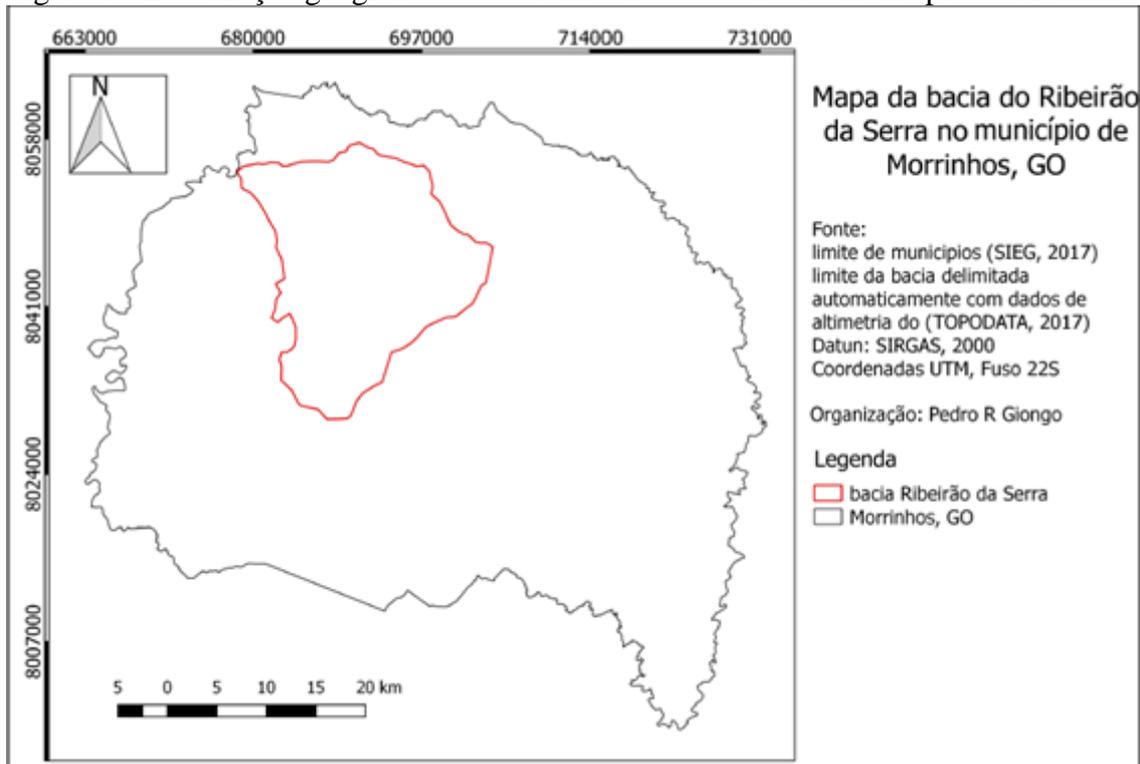
O solo sem vegetação, associado à movimentação sobre ele exercida, contribui de maneira negativa para o aspecto de sua conservação, pois a retirada da vegetação do solo é um dos atenuantes que promovem o desencadeamento dos processos erosivos, que em grande parte dos casos possui reversão muito difícil; além de ser muito onerosa, ainda demanda de técnica apropriada.

Diante disso, objetivou-se a caracterização da sub-bacia do Ribeirão Serra, bem como as características físicas, químicas e estruturais dos solos em quatro voçorocas localizadas na sub-bacia, bem como diagnosticar os possíveis fatores que contribuem para a origem e evolução dessas feições erosivas considerando a topografia e localização geográfica.

MATERIAL E MÉTODOS

O município de Morrinhos é localizado na Mesorregião Sul Goiano e Microrregião Meia Ponte. A pesquisa consiste no diagnóstico e prognóstico de quatro Voçorocas situadas na sub bacia do Ribeirão Serra que pertence à bacia hidrográfica do Rio Meia Ponte, em área rural do supracitado município (Figura 1).

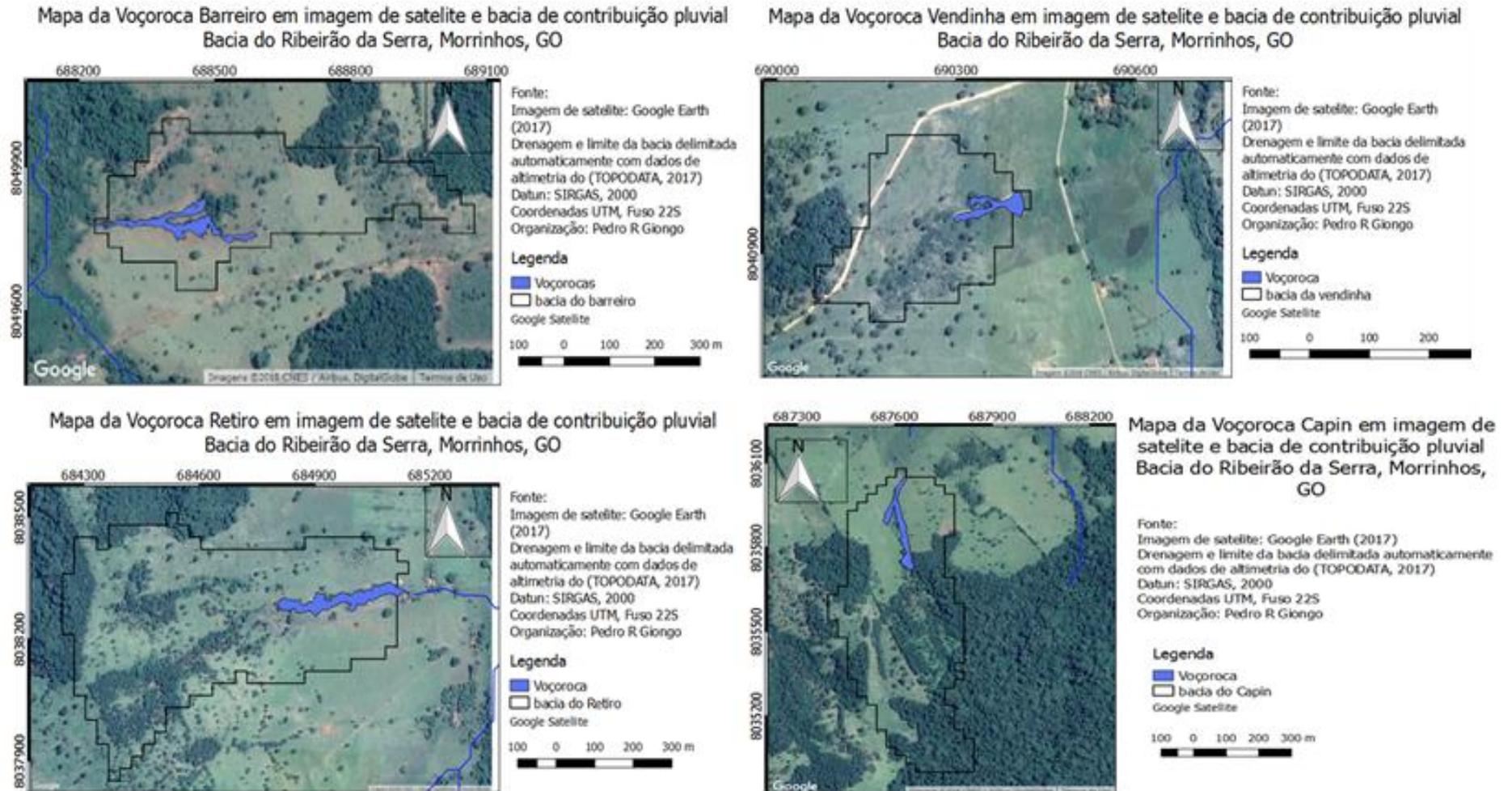
Figura 1 - Localização geográfica da bacia Ribeirão da Serra no município de Morrinhos



Caracterização do objeto de estudo

Para ordenar a sequência das erosões, optou-se por coletar os dados e analisá-los, conforme posicionamento das voçorocas (Norte – Sul) e rotas que às interligam, sendo ponto inicial a Voçoroca do Barreiro, seguindo para a Voçoroca da Vendinha do Retiro e, ao sul a Voçoroca do Capim (também conhecida popularmente como Marilinner) (Figura 2). Esse foi o ordenamento que estruturou a pesquisa e a redação do trabalho.

Figura 2 - Localização geográfica das voçorocas Barreiro, Vendinha, Retiro e Capim, em imagem de satélite (*Google Earth*) e área da bacia de contribuição para o canal da voçoroca.



O tipo de clima do município de Morrinhos é o clima tropical subúmido, considerando basicamente duas estações, sendo o período seco entre os meses de maio a setembro e período chuvoso de outubro a abril. São praticamente 7 meses que aumenta a possibilidade do surgimento de novas erosões e expansão das existentes, levando em consideração que o processo de erosividade hídrica tende a ser mais intenso nesse período chuvoso. Da classificação de Koppen, o município de Morrinhos enquadra no tipo Aw com a estação seca intensa, precipitação média anual é de 1.346 milímetros (CLIMATE-DATA.ORG, 2017).

Segundo Oliveira e Sousa (2012), as precipitações pluviométricas no município de Morrinhos-GO, entre os anos 2000 a 2010, registraram médias anuais de 1.442,6mm, concentrando mais de 95% das precipitações no período chuvoso.

Os dados de altimetria do terreno foram obtidos por meio de dados do TOPODATA (INPE, 2015), disponíveis em cartas (4° x 6°, carta ao milionésimo), acessadas por meio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Através dos dados de altimetria, foram processadas as imagens para obtenção do mapa de declividade e hipsometria, os dados foram gerados pelo *software QGIS v.2.18*. Por meio dos dados de altimetria também foram gerados a rede de drenagem pela ferramenta “*stream.segments*” do GRASS, o qual foi acessada pelo *software QGIS v.2.18*.

A base cartográfica, para os dados de solos e limites de bacias hidrográficas foram disponibilizadas pelo Sistema Estadual de Geoinformação (SIEG, 2017). As informações foram recortadas para o polígono da microbacia do ribeirão da Serra.

Para auxílio à identificação da cobertura vegetal foram utilizadas imagens de satélite do Landsat-8, da órbita 222 ponto 072 passagem no dia 10/04/2017, a qual foi obtida pelo catálogo de imagens do INPE (2015). Ainda para imagens de melhor resolução espacial e auxílio à identificação da cobertura no entorno das voçorocas, foram utilizadas imagens do *Google Earth (Google Maps, 2018)*.

Caracterização e análise das erosões

Foram realizadas visitas técnicas nas erosões para identificar e caracterizar os elementos naturais e antrópicos que podem influenciar o surgimento e evolução das incisões erosivas. Foram realizados registros fotográficos, georreferenciamento dos limites

(bordadura) do polígono de cada voçoroca, coleta de amostras de solos para análises físico-químicas e estruturais, elaboração de mapas temáticos (localização geográfica, geologia, geomorfologia, hipsometria, declividade, solos, hidrografia).

Descrição e coleta de solo no campo

A pesquisa de campo foi realizada com finalidade de descrever e entender a dinâmica evolutiva erosiva das quatro voçorocas selecionadas. Foram realizados registros fotográficos das áreas de estudo, descrição morfológica do solo, georreferenciamento de cada voçoroca (receptor GNSS classe topográfico) e coleta de amostras de solo deformadas para análises físicas e químicas realizadas em laboratório.

Para coleta de amostras de solo nos perfis das voçorocas, procedeu-se a limpeza prévia do talude avançando no mínimo 10 cm para o interior da borda, a fim de minimizar a interferência da alteração do solo exposto.

As amostras foram retiradas nos taludes das voçorocas em três pontos de cada erosão, com três repetições, uma em cada horizonte (A, B e C), somente no terço superior da voçoroca do Barreiro foi coletada uma amostra a mais (R) que pôde ser notada apenas nessa área, com o objetivo de identificar se neste ponto a voçoroca já atingiu a rocha. Os horizontes foram estabelecidos a partir da mudança textural e de cor ao longo do perfil

As profundidades de coletas variaram de 0 a 310 cm. Foram coletados aproximadamente 3 Kg de cada amostra, dos quais foram separados aproximadamente 1 kg para análise em laboratório. O restante da amostra coletada foi utilizada para definição da cor, textura, cimentação e consistência do solo, seguindo orientações de SANTOS et al., (2015).

As análises para caracterização físico-química dos solos de cada erosão foram encaminhadas para laboratório especializado e todas as análises foram realizadas conforme metodologia da Embrapa Solos, em seu Manual de Métodos de Análise de Solo, 2011.

A descrição e coleta de solo no campo segue a metodologia da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SiBCS) descrita em seu livro, 7ª edição, publicado em 2015 (SANTOS et al., 2015). Este manual faz parte de um documento oficial para normatizar e definir características morfológicas que geralmente são utilizadas na coleta e descrição de perfis de solos. Todas as denominações presentes nesse trabalho seguem a padronização de linguagem proposta nessa obra:

1. A descrição e coleta de amostras foram realizadas em três pontos de cada erosão, considerando a divisão em terços e em taludes alternados. Inicialmente, mediu-

se a espessura e profundidade dos horizontes além da avaliação a cerca da transição entre eles, ou seja, a maneira com que os horizontes se diferenciam entre si. Para essas avaliações, é feita observação visual e medição com trena a partir do topo do horizonte superficial.

2. A transição entre os horizontes é classificada considerando a faixa de separação entre eles, medida em centímetros, ou seja, é considerada uma transição abrupta, quando a faixa de separação mede menos que 2,5 centímetros, clara, quando a faixa de separação está entre 2,5 e 7,5 cm, gradual quando maior que 7,5 e menor que 12,5 cm. Quando a faixa de separação medir mais que 12,5 cm, considera-se essa transição como difusa. A transição também pode ser classificada quanto à sua forma, podendo ser plana, ondulada, irregular ou descontínua.

3. O estudo das características morfológicas dos horizontes visa descrever através do estudo da aparência do solo, características morfológicas detalhada de todos os horizontes do solo, considerando as principais características, como: cor, textura, porosidade, consistência, cimentação, nódulos e concreções minerais, presença de carbonatos e manganês e coesão. Esse estudo morfológico da aparência do solo descreve características visíveis a olho nu. Essa descrição é base fundamental para sua identificação que complementado posteriormente com análise em laboratório.

4. A caracterização de cor é de fácil visualização e possibilita inferências quanto à composição do solo. Esta é feita a partir de um padrão mundialmente conhecido que é o Sistema (tabela ou carta) de Munsell de Cores (Figura 3), que consiste em mais de 170 retângulos com colorações variadas inseridos em pasta semelhante a um fichário, que permite a remoção das páginas quando necessário.

Figura 3 – Exemplo da utilização da carta de Munsell, para identificação dos tipos de solos das voçorocas estudadas.



Fonte: O autor

O resultado quanto à cor do solo é possível a partir da comparação de um agregado de determinado horizonte com os retângulos da Tabela de Munsell. O resultado dessa comparação de cor é representado por três elementos básicos: a Matiz que é a cor pura; o Valor medida de grau de claridade com tons cinza, variando de branco a preto; e o Cromo que é a proporção da mistura da cor fundamental com a tonalidade de cinza e variação de 0 a 10 (SANTOS *et. al.* 2015):

1. A classificação de cor foi realizada no campo, sob presença de boa iluminação, comparando uma amostra seca do solo a padrões de cores presentes na carta de Munsell. A tradução das cores apresentadas nesse trabalho foi padronizada pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
2. As várias tonalidades de cor são úteis na identificação e delimitação de horizontes. Em geral, as variações de cores tendem a seguir o seguinte indicativo: as cores mais escuras indicam altos teores de restos orgânicos, cor com tonalidade mais vermelha indicam solos bem drenados e com elevados teores de óxidos de ferro, a tonalidade cinza acompanhada de pequenas manchas remete ao excesso de água no perfil.

Em alguns casos, os horizontes podem apresentar mesclados com mais de uma cor, que são também chamados de mosqueado ou variegado. Nesses casos, estes são classificados quanto à quantidade (pouco, comum e abundante), tamanho (pequeno, médio e grande) e contraste (difuso, distinto e proeminente) das manchas.

3. A caracterização de textura refere-se a porção de frações granulométricas presentes no solo. Essas frações são areia, silte e argila, no campo, a estimativa dessas quantidades é feita apenas pelas sensações do tato ao manipular as amostras, tornando-se complexa a quantificação das mesmas. A presença de areia é percebida pela sensação de aspereza, a maciez, plasticidade; a presença de silte caracteriza pela sedosidade e pouca plasticidade; a presença de argila pode ser avaliada quanto a pegajosidade e plasticidade (SANTOS *et. al.* 2015).

Entretanto, para precisar a composição textural, foi necessária a realização de análise laboratorial a fim de quantificar as frações de areia, silte e argila. E a partir desses resultados dá-se a possibilidade inferências e correlações entre a composição do solo e o processo erosivo.

4. A porosidade do solo foi avaliada com o auxílio de um paquímetro e classificou os poros em relação a quantidade e a seu tamanho, considerando como muito

pequenos aqueles com menos de 1 mm de diâmetro, pequenos os que possuíam diâmetro entre 1 e 2 mm, médios os com diâmetro entre 2 e 5mm e grandes aqueles poros com diâmetro entre 5 e 10 mm (SANTOS *et. al.* 2015).

A consistência do solo foi avaliada em três estados de umidade (seco, úmido e molhado), visto que o conteúdo de umidade influi diretamente na consistência. A consistência do solo quando seco é determinada pela compressão de um torrão seco entre os dedos polegar e indicador. Essa classifica a tenacidade e dureza do solo conforme o Manual de descrição e coleta de solo no campo – (SANTOS *et al.*, 2015), (Tabela 1).

Tabela 1 - Classificação da consistência do solo quando **seco**.

Solta	Não coerente entre o polegar e o indicador.
Macia	A massa do solo é fracamente coerente e frágil; quebra-se em material pulverizado ou grãos individuais sob pressão muito leve.
Ligeiramente dura	Fracamente resistente à pressão; facilmente quebrável entre o polegar e o indicador.
Dura	Moderadamente resistente à pressão, pode ser quebrado nas mãos, sem dificuldade, mas é dificilmente quebrável entre o indicador e o polegar.
Muito dura	Muito resistente à pressão. Somente com dificuldade pode ser quebrado nas mãos. Não quebrável entre o indicador e o polegar.
Extremamente dura	Extremamente resistente à pressão. Não pode ser quebrado com as mãos.

Fonte: Manual de descrição e coleta de solo no campo – (SANTOS et. al. 2015)

A consistência do solo quando úmido é descrita a partir de um torrão inicialmente seco, levemente umedecido. Antes de se caracterizar a consistência do solo úmido, é necessário que o excesso de água seja removido da amostra. Para essa avaliação, tenta-se esboroar um torrão ligeiramente úmido, e classifica-se conforme o Manual de descrição e coleta de solo no campo – (SANTOS et al., 2015) ,(Tabela 2).

Tabela 2 – Classificação da consistência do solo quando **úmido**.

Solta	Não coerente
Muito friável	O material do solo esboroa-se com pressão muito leve, mas agrega-se por compressão posterior.
Friável	O material do solo esboroa-se facilmente sob pressão fraca e moderada entre o polegar e o indicador e agrega-se por compressão posterior.
Firme	O material do solo esboroa-se sob pressão moderada entre o indicador e o polegar, mas apresenta resistência distintamente perceptível.
Muito firme	O Material do solo esboroa-se sob forte pressão; dificilmente esmagável entre o indicador e o polegar.
Extremamente firme	O material do solo somente se esboroa sob pressão muito forte, não pode ser esmagado entre o indicador e o polegar e deve ser fragmentado pedaço por pedaço.

Fonte: Manual de descrição e coleta de solo no campo – (SANTOS et. al. 2015).

A consistência do solo quando molhado é classificada (Tabela 3) a partir da adição de água às amostras de solo sob manipulação constante. É caracterizada pela pegajosidade e plasticidade da amostra. Para determinar a plasticidade do solo, rola-se a amostra já molhada entre os dedos e se observa a possibilidade de formação de um fio ou cilindro fino, enquanto a pegajosidade é a classificada a partir da aderência do solo molhado aos dedos.

Tabela 3 - Classificação da consistência do solo quando **molhado**.

Não-plástica	Quando muito, forma-se um fio, que é facilmente deformado.
Ligeiramente plástica	Forma-se um fio, que é facilmente deformado.
Plástica	Forma-se um fio, sendo necessária pressão moderada para sua deformação.
Muito plástica	Forma-se um fio, sendo necessária muita pressão para deformá-lo
Não pegajosa	Após cessar a pressão, não se verifica, praticamente, nenhuma aderência da massa aos dedos.
Ligeiramente pegajosa	Após cessar a pressão, o material adere a ambos os dedos, mas desprende-se de um deles perfeitamente. Não há apreciável esticamento ou alongamento quando os dedos são afastados.
Pegajosa	Após cessar a compressão, o material adere a ambos os dedos e, quando são afastados, tende a alongar-se um pouco e romper-se, em vez de desprender-se de qualquer um dos dedos.
Muito pegajosa	Após a compressão, o material adere fortemente a ambos os dedos e alonga-se perceptivelmente quando eles são afastados.

Fonte: Manual de descrição e coleta de solo no campo – (SANTOS et. al. 2015).

A consistência dura e quebradiça do solo é devido à presença de agente cimentante e não se altera quando o material de solo é molhado. São considerados solos fracamente cimentados, aqueles cuja massa é quebradiça ou dura, mas pode ser quebrada nas mãos. Já os fortemente cimentados, são aqueles quebradiços e mais duros do que o que se pode quebrar com a mão, porém, pode facilmente ser quebrado com um martelo pedológico. Enquanto os extremamente cimentados, só podem ser quebrados com golpe vigoroso do martelo pedológico. A cimentação é maior em presença de substâncias como carbonato de cálcio, sílica, óxidos de ferro e alumínio (SANTOS et. al. 2015).

Os corpos cimentados que podem ser removidos intactos do solo são chamados de nódulos e concreções minerais, a descrição destes é feita sobre a quantidade, tamanho, dureza e cor dos nódulos presentes em cada horizonte.

Alguns testes qualitativos permitem a verificação da presença de algumas substâncias no solo ainda no campo, como é o caso de carbonatos e manganês, que respectivamente, foram avaliados a partir da observação de efervescência após aplicação de gotas de Ácido Clorídrico (HCl 10%) e Peróxido de hidrogênio (20 volumes) (SANTOS et. al. 2015).

As análises físicas e químicas de cada horizonte das quatro erosões foram realizadas por laboratório especializado, conforme metodologia de análises de solos da EMBRAPA (2011).

A Tabela 4 evidencia a relação de algumas características dos solos, comparando os solos arenosos e os solos argilosos.

Tabela 4 – Características textural do solo considerando solos arenosos e argilosos.

SOLOS ARENOSOS	SOLOS ARGILOSOS
Menor porosidade do solo	Maior porosidade do solo
Menor micro e maior macroporosidade	Maior micro e menor macroporosidade
Baixa retenção de água	Alta retenção de água
Boa drenagem e aeração	Drenagem lenta e pouco arejado (se pouco agregados)
Menor densidade do solo	Maior densidade do solo
Aquece rápido	Aquece lentamente
Resiste à compactação	Maior suscetibilidade à compactação
Baixa CTC	Maior CTC
Mais lixiviável	Menos lixiviável
Maior erosão	Mais resistente à erosão
Coesão baixa, friável	Coesão elevada, firme
Consistência friável quando úmido	Consistência plástica e pegajosa quando molhado
Fácil preparo mecânico	Mais resistente ao preparo (pesado)
Matéria orgânica baixa e rápida decomposição	Matéria orgânica média a alta e menor taxa de decomposição

Fonte: REINERT; REICHERT, (2006).

Análise multivariada dos dados físicos e químicos dos solos

Para melhor interpretação dos dados químicos e físicos dos solos coletados das voçorocas da sub-bacia do Ribeirão Serra, município de Morrinhos, GO, procedeu-se uma análise multivariada, por meio de tratamento de Análise Discriminante de Mínimos Quadrados Parciais PLS-DA, (“*Partial Least Squares – Discriminant Analysis*”), através do processamento *on-line* *MetaboAnalyst* (2018).

O tratamento dos dados a partir da PLS-DA, ou seja, regressão por mínimos quadrados parciais são comparações em pares para realizar a classificação de um grupo de dados, permitindo assim agrupar ou não as voçorocas quanto aos elementos analisados (físicos e químicos). A análise multivariada PLS-DA de um conjunto de dados foi também aplicada em outros trabalhos de diversas áreas como enfatizam (TAVEIRA et al., 2014).

A análise multivariada foi aplicada com objetivo de identificar se o conjunto de elementos (físicos e químicos) interagem entre si e apresentam semelhanças quanto a esses elementos, para isso os resultados das análises químicas e físicas dos solos foram agrupados para as quatro voçorocas do Ribeirão da Serra.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A formação Geológica da sub-bacia do Ribeirão da Serra pertence ao grupo Araxá, é constituída basicamente por xistos e micaxistos (NAVARRO et al., 2013). É constituído ainda por basaltos e rochas vulcânicas. Percebe-se que as rochas nessa região passaram por intenso processo de alterações físicas e químicas.

Para SILVA e MACHADO (2014 p.79), “a geomorfologia é a ciência que estuda a formação e dinâmica do relevo”, sendo esse um elemento físico importante para o homem sobre o processo de ocupação do espaço (físico – terreno).

Na sub-bacia do Ribeirão da Serra predomina relevo com formação aplainado a levemente ondulado. A formação do relevo é um condicionante fundamental para análise do processo de formações de erosões e todo mecanismo a ele empregado. E a partir do relevo que se faz o levantamento topográfico da área e as influências antrópicas sobre o mesmo, além do uso e ocupação do solo, tendo em vista os meios produtivos possíveis para áreas com maior ou menor declividade.

De acordo com a EMPBRAPA (2006), O tipo de solo que predomina na sub-bacia do Ribeirão da Serra é o Cambissolo Háplico, mas em alguns trechos nas erosões são

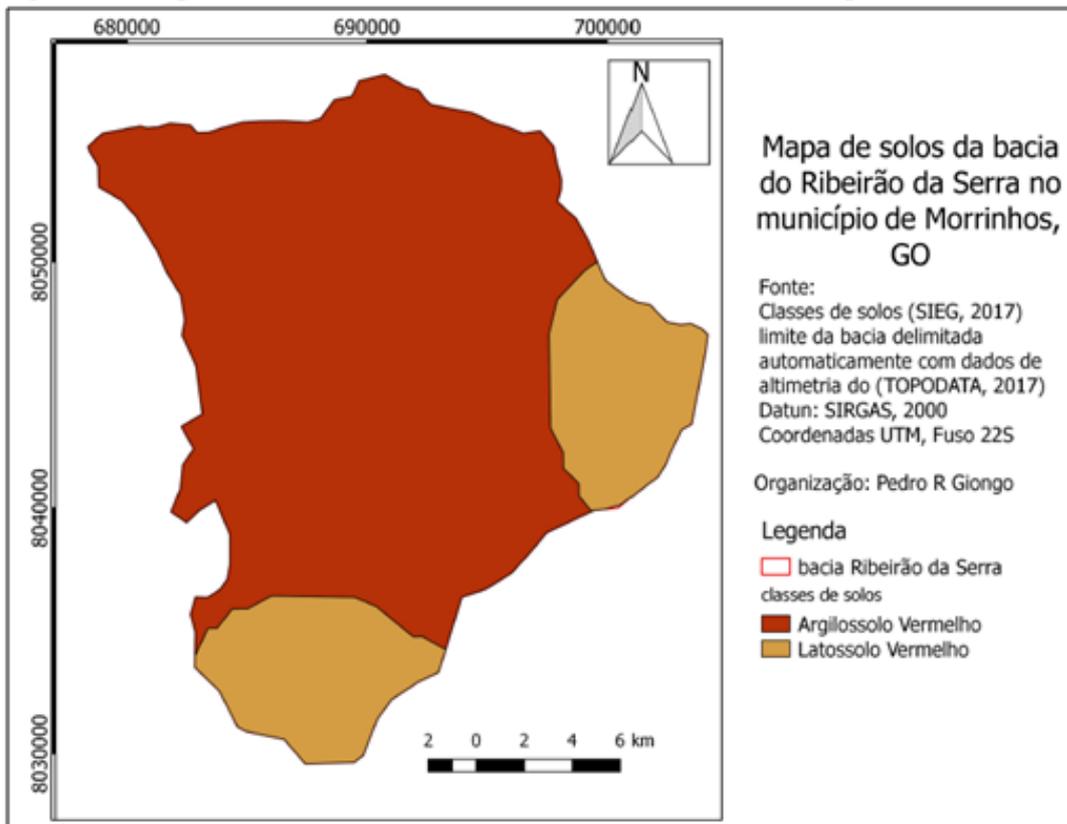
encontrados a presença de Latossolos Vermelhos e Latossolos Vermelhos Amarelo. O Gleissolo Háptico e Argissolo são comuns também nos taludes das Voçorocas. Além do Neossolos Litolíticos onde ocorrem afloramentos rochosos.

Nas áreas erodidas a presença maior é de Argissolo Vermelho e Latossolo Vermelho (Figura 4), sendo solos mais profundos e com melhor capacidade de drenagem. É possível encontrar em menor proporção (não é contemplado no mapa devido escala), os Cambissolos e Gleissolos, esse último é mais comum ser encontrado em fundos de vale.

Na Voçoroca do Barreiro o solo predominante é Cambissolo Háptico, ocorre uma pequena variação terço inferior da voçoroca onde é possível encontrar Gleissolo Háptico e no topo da erosão existe também o Latossolo Vermelho.

A Voçoroca da Vendinha ocorre em solo classificado como Cambissolo movimentado, favorável aos processos erosivos. Na Voçoroca do Retiro e do Capim, ambas estão localizadas em áreas cuja predominância de solo é Cambissolo, além de haver ocorrência também de Latossolo profundo.

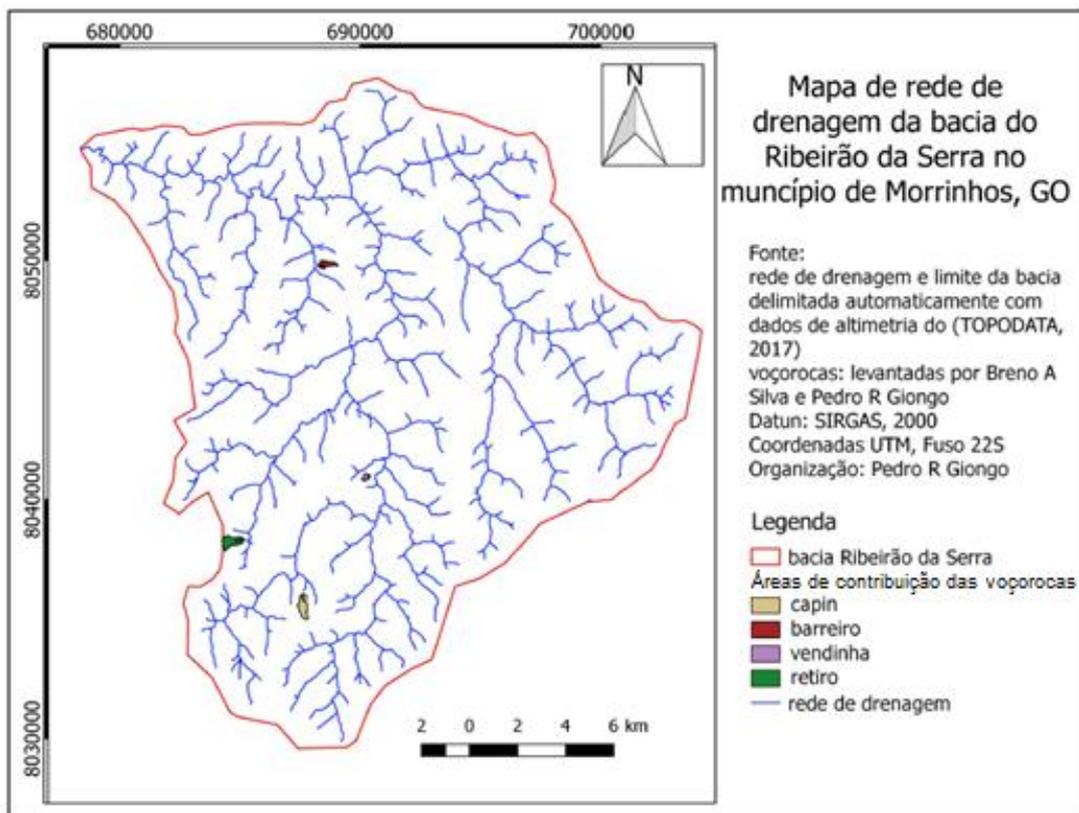
Figura 4 - Mapa de solos da bacia do Ribeirão da Serra no município de Morrinhos - GO



Bacia hidrográfica é uma rede de drenagem constituída por um rio e seus afluentes que se iniciam em regiões mais altas, conhecidas como divisores de águas. A água que escoar entre o divisor de água e o rio principal tem início a partir de pequenos filetes de água, seguindo para córregos, riachos, ribeirões até os rios.

A bacia hidrográfica do Ribeirão Serra (Figura 5) tem o Ribeirão Serra como curso d'água de quinta ordem, sendo esse que apresenta maior drenagem. A voçoroca do Barreiro está conectada ao Córrego que recebe mesmo nome. A da Vendinha está direcionada ao Ribeirão Serra, porém não está conectada ao curso d'água. Da mesma forma ocorre com as voçorocas do Retiro e Capim. Essas duas últimas são afluentes de córregos que recebem as mesmas denominações dessas erosões.

Figura 5- Mapa de hidrografia com a localização das voçorocas na Bacia Ribeirão da Serra, Morrinhos - GO



A sub-bacia do Ribeirão da Serra é composta por vegetação predominante tipo Cerrado *Stricto Sensu*, Cerradão, Campo Sujo e Campo Cerrado, além da presença de Matas Ciliares. No entanto, parte dessa vegetação com o decorrer do tempo foi desmatada, cedendo lugar para atividades agropecuárias.

Vale ressaltar ainda que, com o aumento da demanda social é inevitável à necessidade de se elevar a produção e consequentemente a ampliação da área do sistema de produção agropecuária, que avança sobre o Cerrado, principalmente por este ser favorável às produções agrícolas que são muito bem adaptadas a esse Bioma. A pecuária leiteira e de corte, produção de grãos, onde se destacam a soja e o milho, além da inserção acelerada da produção sucroalcooleira através da cana de açúcar sobre o Cerrado, apesar de que nas áreas estudadas a declividade não é favorável para a produção agrícola e esse deve ser o motivo de que o sistema de produção próximo às quatro erosões é principalmente agropecuário.

Tabela 5 - Dimensões das voçorocas Barreiro, Vendinha, Retiro e Capim, localizadas na sub-bacia da Serra, Morrinhos GO.

	Barreiro	Vendinha	Retiro	Capim
Área da voçoroca (m ²)	7009	2219	9274	7509
Bacia de contribuição (ha)	16	7	33,6	32
Maior largura (m)	44,87	40,43	57,43	32,76
Maior comprimento (m)	358,8	118,93	343,41	332,61
Comprimento de rampa (m)*	483	268	562,47	724,42

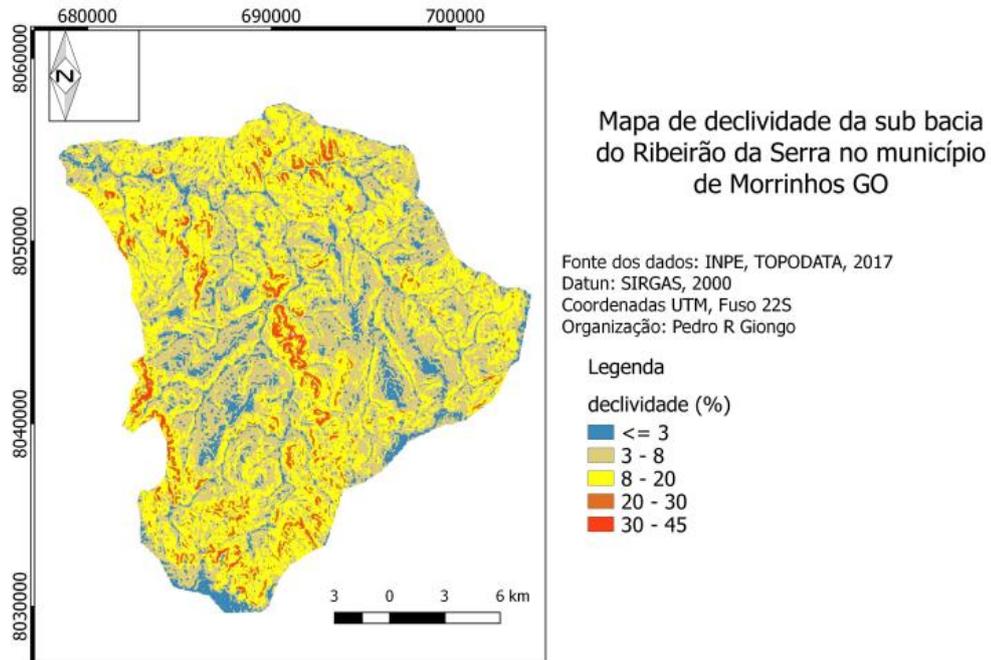
*comprimento de rampa foi considerado a distância em linha reta entre o ponto mais distante da bacia de contribuição até o início da voçoroca.

A voçoroca do Retiro é a maior erosão em área erodida entre as quatro que foram estudadas, com 9.274 m², enquanto a menor das voçorocas é a da Vendinha com área total de 2.219 m².

A análise sobre a declividade é fundamental para compreender a modelagem do relevo e as condições para uso e ocupação do solo. Pois, quanto maior a declividade, maior será a possibilidade de movimentos de massa e/ou desencadeamento de erosões hídricas.

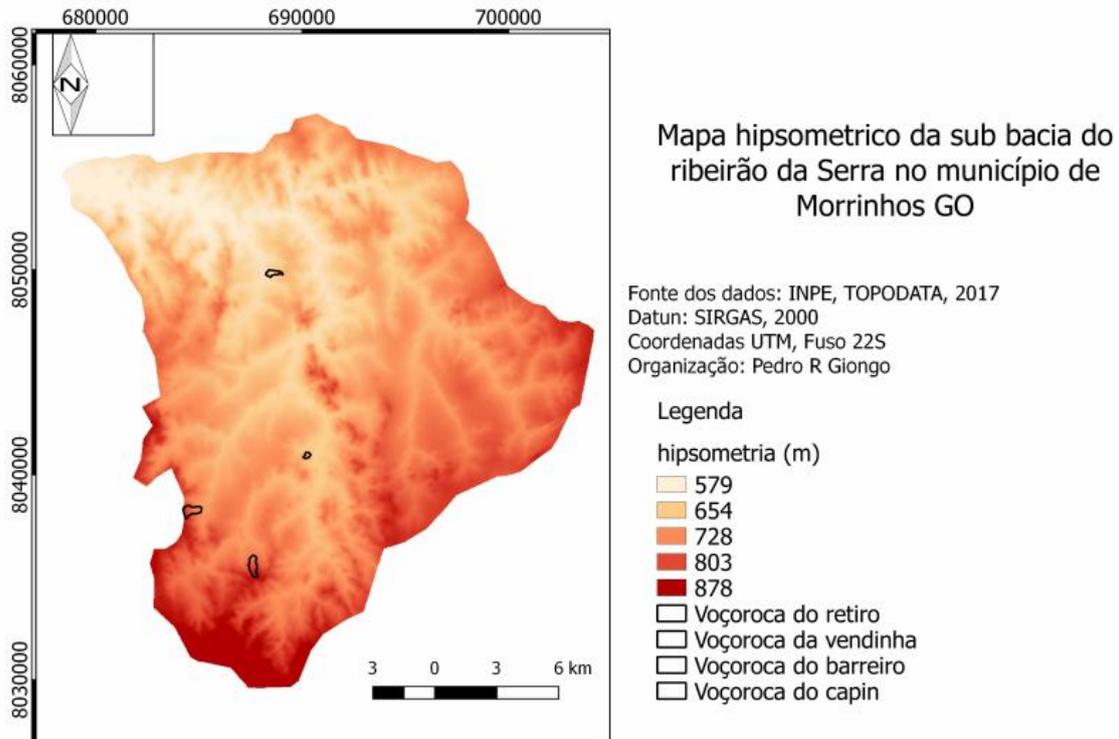
As voçorocas do Barreiro e da Vendinha apresentam declividade aproximada de 15%. A do Retiro possui declividade com variação de 3 a 15 %. A declividade da Voçoroca do Capim em sua cabeceira é de 30 %, no trecho médio é de 15% e a jusante 8%, conforme Figura 6.

Figura 6 - Mapa de declividade (%) da bacia do Ribeirão da Serra no município de Morrinhos GO.



O mapa de hipsometria (Figura 7) possibilita conhecer o relevo de uma região de forma mais aprofundada. Trata-se sobre a medição de altitudes dos pontos de um terreno. Nesse método as altitudes são representadas por diferentes cores, obedecendo à convenção de cores hipsométricas, o marrom mais escuro representa as maiores altitudes e conforme a tonalidade da cor vai clareando, seguindo para tonalidade amarela representa médias altitudes.

Figura 7 - Mapa de hipsometria da Bacia Ribeirão da Serra, Morrinhos GO, e localização geográfica das voçorocas estudadas.



Fatores relacionados ao uso do solo

O desmatamento de vertentes e a substituição por pastagem favorece a instalação do fenômeno erosivo associados ao *piping* na porção jusante das vertentes e associado a chuvas muito intensas, promove o escoamento concentrado com alto poder erosivo (CASTRO, 2005).

Por meio das análises laboratoriais e visitas *in loco* foi possível fazer inferências sobre as possíveis causas das feições erosivas na sub-bacia do Ribeirão Serra e avaliar quais as melhores medidas de controle e recuperação que podem ser aplicadas no local. Destaca-se principalmente, o uso de solo para a produção agropecuária de forma inadequada, que se caracteriza como principal fator agravante nas voçorocas em questão, seguido do desmatamento da vegetação, não desconsiderando fatores relacionados à própria estrutura e composição do solo além da declividade do local.

Nas quatro voçorocas analisadas, é observado que a área em seu entorno é utilizada para a prática agropecuária, tendo como vegetação predominante o capim, que é base para alimentação de bovinos.

Na voçoroca do Barreiro existe a gramínea brachiária e uma pequena gleba de mata em sua cabeceira com árvores de médio e pequeno porte. Vegetação semelhante está presente

nas margens do córrego Barreiro. A voçoroca da Vendinha localiza-se em área principalmente de pastagens e com pouca presença de árvores de pequeno e médio porte, vegetação típica do Cerrado *Scrito Sensu*.

Das quatro erosões, a voçoroca do Retiro é a que possui menor quantidade de árvores proporcional a sua extensão. É a erosão em que o trânsito de animais em seu interior é mais ativo, devido à existência de vários pontos menos íngremes que contribuem para o acesso desses animais.

Na Voçoroca do Capim predomina pastagens em seu entorno o que não diferencia das demais. Entretanto nessa erosão as árvores que compõem a vegetação em sua cabeceira são consideradas de grande porte e as margens da erosão, predominância de pequenas árvores.

Outra diferença fundamental sobre o utilização da área é o fato de que a área erodida é toda cercada, indicando preocupação com a recuperação da mesma e ainda esse cuidado contribui para evitar que animais aproximem muito da borda da erosão, correndo o risco de cair e morrer. Além disso, em Novembro de 2017 foi realizada obra de contenção do avanço da erosão. Foi construída uma barragem no talvegue da voçoroca a fim de interceptar o fluxo de água que escoar durante eventos chuvosos, conforme ilustrado nas Figuras 8A e 8B. Esse barramento foi construído de forma que o excedente de água acumulada possa escoar em áreas adjacentes (pastagem).

Figura 8 – (A) Vista a montante do Barramento na Voçoroca do Capim (Novembro de 2017); (B) Barramento com vista a partir da cabeceira da Voçoroca do Capim (Novembro de 2017); (C) Trilhas de gado com formação de sulcos na voçoroca Capim (Janeiro de 2018); (D) Barramento no leito da voçoroca do Retiro (Janeiro de 2018).



Fonte: o autor.

A voçoroca do Retiro mesmo não sendo protegida com cerca em seu entorno é a que visivelmente encontra em fase de estabilidade e recuperação, pois a princípio o proprietário da área adotou uma medida de contenção que foi positivo na prática. Foi construído um desvio de água semelhante a um terraço, onde a água que escoar em direção a voçoroca é convergida para a margem direita da erosão em área coberta por pastagem. Além de pequenos barramentos no interior da voçoroca, conforme (Figura 8D).

O fato de todas estarem localizadas em áreas de pastagens pode ser mais um dos motivos da erosão, pois o pisoteio do gado compacta o solo e promove o selamento superficial, tornando-o impermeável. Além disso, outro grande problema causado pela movimentação do gado é a formação de trilhas, pois, esses animais costumam repetir o mesmo caminho diariamente.

Essas trilhas (Figura 8C) em período chuvoso costumam concentrar o fluxo de água que escoar sobre a superfície, o que aumenta a pressão exercida sobre o solo e conseqüentemente a remoção de partículas e contribui para início de pequenas erosões como sulcos e calhas, mas que rapidamente evoluem para ravinas e podem chegar ao estágio conhecido como voçorocas devido suas grandes dimensões e por atingir a rocha.

A medida de contenção corretiva por meio de construção de barragem implantada na cabeceira da voçoroca do Capim não foi uma boa alternativa como medida de contenção, pois não suportou e rompeu-se (Figura 9) devido o acúmulo de águas pluviais a sua montante no final do mês de dezembro de 2017. Nesse caso, a ineficácia da construção da barragem pode estar diretamente ligada à falta de planejamento sobre os critérios de aplicabilidade (composição do solo, estrutura, declividade, ou a natureza do terreno).

Figura 9 – Vista a montante do Barramento na Voco-roca do Capim (Janeiro 2018)



Fonte: o autor

Dentre as práticas para a recuperação e contenção de erosões se encontra a manutenção da superfície do solo coberta, através da utilização de plantas de cobertura, que visam manter o solo coberto, tanto em período chuvoso quanto à exposição de raios solares. A proteção do solo por essa cobertura diminui a propensão a erosão, pois intercepta maior quantidade de água e ainda promove amortecimento de impactos das gotas de chuva e fluxo de enxurrada amenizando a destruição dos agregados, obstrução dos poros e selamento superficial (PRUSKI, 2009).

A inserção de tais plantas na superfície do solo favorece significativamente na recuperação de processos erosivos, principalmente se combinada a outras técnicas mecânica, porém, para que sua produtividade seja em quantidade satisfatória se faz necessária uma análise química do solo para que se forneçam os nutrientes necessários para o crescimento destas.

Além de proteção contra ação da chuva, as plantas de cobertura minimizam a exposição direta do solo aos raios solares, pois estes são responsáveis pela destruição da matéria orgânica e microrganismos. A preservação de cobertura na superfície da erosão proporciona também, maior capacidade de infiltração de água, aumentando a capacidade de armazenamento de água sobre a superfície e no perfil, além de favorecer a produção de matéria orgânica para ser incorporada ao solo (PRUSKI, 2009).

Outro fator importante para a caracterização do solo em feições erosivas é a espessura e arranjo dos horizontes do solo, que são as camadas constituintes do solo. Os horizontes se formam como resultado de interações durante o intemperismo. A profundidade

em que foi coletada cada amostra, seguida pela espessura de cada horizonte são apresentadas na Tabela 6.

A variação de profundidade do horizonte C na Voçoroca do Barreiro foi o que mais destacou, iniciando no terço superior a 70 centímetros, no terço médio 110 centímetros e no inferior a 150 centímetros. Foi coletado no terço superior amostra de rocha a uma profundidade de 3,10 metros com coloração bastante diferente e que se destacou muito durante a coleta em relação ao horizonte C, além da consistência extremamente rígida.

Na voçoroca da Vendinha o que mais se destacou foi a profundidade do horizonte C no terço superior atingindo 140 centímetros, diferente dos demais trechos onde o horizonte C foi encontrado a 70 centímetros.

Na voçoroca do Retiro a maior diferença foi o horizonte B do terço médio atingindo profundidade entre 50 a 200 centímetros, enquanto as demais dos mesmos horizontes foram encontrados entre 50 a 150 centímetros. E na Voçoroca do Capim o horizonte B do terço superior foi o que mais destacou, sendo encontrado entre 40 e 220 centímetros.

Foi realizada classificação de cor dos horizontes das voçorocas, seguindo a mesma divisão das demais análises, ou seja, por terços. Essa análise foi realizada por meio de avaliação de cor por meio da Carta de Munsell de acordo com matiz, valor e croma (Tabela 7).

Tabela 6 - Espessura e arrançamento dos horizontes das voçorocas

ESPESSURA E ARRANJAMENTO DOS HORIZONTES DAS VOÇOROCAS									
Terço	Horizonte	Voçoroca Barreiro		Voçoroca da Vendinha		Voçoroca do Retiro		Voçoroca do Capim	
		Profundidade (cm)	Espessura (cm)	Profundidade (cm)	Espessura (cm)	Profundidade (cm)	Espessura (cm)	Profundidade (cm)	Espessura (cm)
Superior	A	0 - 40	40	0 - 30	30	0 - 40	40	0 - 40	40
	B	40 - 70	30	40 - 140	100	50 - 120	70	40 - 220	180
	C	70 - 310	240	140 ⁺	-	150 ⁺	-	220 ⁺	-
	R	310 ⁺	-	-	-	-	-	-	-
Médio	A	0 - 50	50	0 - 28	28	0 - 50	50	0 - 15	15
	B	50 - 100	50	30 - 70	40	50 - 200	150	15 - 40	25
	C	110 ⁺	-	70 ⁺	-	200 ⁺	-	40 ⁺	-
Inferior	A	0 - 30	30	0 - 30	30	0 - 50	50	0 - 20	20
	B	30 - 150	120	30 - 70	40	70 - 150	50	20 - 100	80
	C	150 ⁺	-	70 ⁺	-	170 ⁺	-	100 ⁺	-

Tabela 7 - Classificação da cor do solo dos horizontes das voçorocas.

COR DO SOLO DE CADA HORIZONTE									
Terço	Horizonte	Voçoroca Barreiro		Voçoroca da Vendinha		Voçoroca do Retiro		Voçoroca do Capim	
		Munsell	Tradução	Munsell	Tradução	Munsell	Tradução	Munsell	Tradução
Superior	A	2.5YR 2.5/3	Bruno- avermelhado- escuro	7.5YR 6/3	Bruno-claro	5YR 3/3	Bruno- avermelhado- escuro	7.5YR 5/3	Bruno
	B	2.5YR 3/6	Vermelho-escuro	10YR 6/4	Bruno- amarelado-claro	5YR 3/2	Bruno- avermelhado- escuro	5YR 3/4	Bruno- avermelhado- escuro
	C	2.5YR 4/8	Vermelho	10YR 7/6	Amarelo	7.5YR 6/8	Amarelo- avermelhado	5YR 4/3	Bruno- avermelhado
	R	10YR 5/6	Bruno-amarelado	-	-	-	-	-	-
Médio	A	2.5YR 3/3	Bruno- avermelhado- escuro	10YR 5/2	Bruno- acinzentado	5YR 4/3	Bruno- avermelhado	7.5YR 4/2	Bruno
	B	2.5YR 3/4	Bruno- avermelhado- escuro	7.5YR 5/1	Cinzento	2.5YR 3/3	Bruno- avermelhado- escuro	5YR 3/4	Bruno- avermelhado- escuro
	C	7.5YR 5/8	Bruno-forte	2.5Y 8/2	Amarelo-claro- acinzentado	7.5YR 5/6	Bruno-forte	5YR 4/6	Vermelho- amarelado
Inferior	A	10R 4/3	Vermelho- acinzentado	2.5YR 5/3	Bruno- avermelhado	7.5YR 4/3	Bruno	5YR 4/3	Bruno- avermelhado
	B	10R 3/2	Vermelho-escuro- acinzentado	10YR 5/2	Bruno- acinzentado	10YR 3/3	Bruno-escuro	7.5YR 5/4	Bruno
	C	2.5YR 3/3	Bruno- avermelhado- escuro	2.5Y 8/1	Branco	2.5Y 5/4	Bruno-oliváceo- claro	7.5YR 3/4	Bruno-escuro

A consistência do solo é condicionada pelas forças de adesão e coesão, ainda dependem da umidade do solo. Foram considerados a pegajosidade e a friabilidade do solo, classificados como solta, muito friável, friável, firme, muito firme, extremamente firme (Tabela 8).

A composição textural do solo é importante fator para estudo de erodibilidade devido processos de desagregação e transporte de sedimentos. Afirma ainda que os solos com maior composição de argila resistem mais a desagregação das partículas, especialmente devido sua característica plástica com maior coesão entre as partículas e maior capacidade de retenção de água, evitando o desgaste do solo através do escoamento superficial (BRAGHIROLI, 2017).

Assim como a areia fina, o silte também é considerado composição textural mais vulnerável aos processos erosivos. A areia pode ser facilmente transportada, possui baixa retenção de água e facilita a drenagem entre os poros. E o silte com percentual mais elevado aumenta a suscetibilidade erosiva, devido formação de crosta na parte superficial do solo, diminuindo a infiltração e aumentando o escoamento superficial, exemplo comum no Latossolo do Cerrado (OLIVEIRA, et al., 2011).

Tabela 8 - Consistência de solo úmido e molhado de cada horizonte dos solos das voçorocas da sub-bacia do Ribeirão Serra

CONSISTÊNCIA DO SOLO ÚMIDO E MOLHADO					
Terço	Horizonte	Voçoroca Barreiro	Voçoroca da Vendinha	Voçoroca do Retiro	Voçoroca do Capim
Superior	A	Friável e ligeiramente pegajosa	Muito friável e ligeiramente pegajosa	Muito firme e não pegajosa	Muito firme e ligeiramente pegajosa
	B	Friável e pegajosa	Friável e ligeiramente pegajosa	Muito firme e não pegajosa	Firme e ligeiramente pegajosa
	C	Muito firme e muito pegajosa	Muito friável e ligeiramente pegajosa	Muito firme, plástica e pegajosa	Extremamente firme e ligeiramente pegajosa
	R	Extremamente firme	-	-	-
Médio	A	Friável e muito pegajosa	Firme e pegajosa	Friável e pegajosa	Muito friável e pagajosa
	B	Friável e muito pegajosa	Firme e ligeiramente pegajosa	Muito friável e ligeiramente pegajosa	Friável e ligeiramente pegajosa
	C	Firme e muito pegajosa	Firme e ligeiramente pegajosa	Friável, ligeiramente plástica e pegajosa	Friável e pegajosa
Inferior	A	Friável e não pegajosa	Friável e ligeiramente pegajosa	Muito firme e pagajosa	Friável e pegajosa
	B	Firme e não pegajosa	Firme e não pegajosa	Muito firme, ligeiramente plástica e pegajosa	Friável e ligeiramente pegajosa
	C	Firme e pegajosa	Extremamente firme e não pegajosa	Extremamente firme e pegajosa	Friável e não pegajosa

Análise de composição química

No suporte ao crescimento de plantas, uma das funções mais importantes do solo é a disponibilização de nutrientes, que é feita por meio da troca catiônica (CTC), que é a capacidade de um sedimento ou solo de trocar cátions. Ou seja, a troca catiônica é o mecanismo pelo qual os macronutrientes são disponibilizados para as plantas. Os elementos mais comuns disponibilizados pelo solo são classificados em macro e micronutrientes. Os macronutrientes necessários para as plantas são nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre (MANAHAN, 2013)

Com base nessas informações e em resultados de análises laboratoriais torna-se possível fazer as correções necessárias para que o solo possa ter uma cobertura vegetal saudável que aumente sua resistência à erosões hídricas. A concentração ideal de cada nutriente presente no solo varia de acordo com a cultura que será inserida no local, mas de forma generalizada, Sousa e Lobato (2004) trazem uma classificação das faixas de concentração de cálcio e magnésio presentes na camada de 0 a 20 cm em solos do cerrado conforme Tabela 9, que possibilitará comparação às erosões estudadas.

Tabela 9 - Interpretação química dos elementos de Cálcio e Magnésio em solos do Cerrado

Faixas	Cálcio (Ca) cmolc/dm ³	Magnésio (Mg) cmolc/dm ³
Baixo	< 1,5	< 0,5
Adequado	1,5 – 7,0	0,5 - 20
Alto	> 7,0	> 20

Fonte: Sousa e Lobato (2004)

A partir da análise dos resultados laboratoriais das erosões em questão (Tabela 10), nota-se que o nível de cálcio nas camadas superficiais dos horizontes é alta, com exceção da Voçoroca da Vendinha, que possui nível adequado desse nutriente. O cálcio é essencial para o crescimento das plantas, porém, em solos ácidos como os estudados, ainda que o nível de cálcio seja elevado, este não fica disponível às plantas devido à competição química pelo íon de hidrogênio. A realização de uma correção de pH, buscando a neutralidade é suficiente para sanar a deficiência de cálcio às plantas (MANAHAN, 2013).

Tabela 10 - Composição química dos solos por horizontes das erosões Barreiro, Vendinha, Retiro e Capim, na bacia do Ribeirão Serra, Morrinhos, GO, 2017.

Ter.	Hor	Voçoroca do Barreiro				Voçoroca da Vendinha				Voçoroca do Retiro				Voçoroca do Capim			
		pH (CaCl ₂)	Ca (cmolc/dm ³)	Mg (cmolc/dm ³)	CTC (cmolc/dm ³)	pH (CaCl ₂)	Ca (cmolc/dm ³)	Mg (cmolc/dm ³)	CTC (cmolc/dm ³)	pH (CaCl ₂)	Ca (cmolc/dm ³)	Mg (cmolc/dm ³)	CTC (cmolc/dm ³)	pH (CaCl ₂)	Ca (cmolc/dm ³)	Mg (cmolc/dm ³)	CTC (cmolc/dm ³)
Sup.	A	5,7	12,6	1,5	16,56	5,1	4,7	1,4	9,80	5,4	15,1	1,4	20,50	5,4	16,4	1,5	21,72
	B	5,9	10,8	1,6	14,55	5,3	2,8	1,1	6,06	5,8	9,5	1,4	12,91	6,0	11,8	1,5	15,26
	C	6	6,6	1,8	10,16	5,2	1,0	0,4	2,41	6,0	9,7	1,8	13,73	5,8	12,8	1,6	16,78
Med	A	5,7	12,9	1,2	17,11	4,8	2,7	1,0	7,86	5,6	19,5	1,4	23,55	5,1	16,3	1,7	21,22
	B	6	12,4	1,6	15,88	5,0	3,0	1,3	7,01	5,9	18,8	1,7	22,29	5,7	14,1	1,5	17,60
	C	6,2	12,7	2,1	16,4	4,5	1,1	0,6	5,58	5,8	15,6	1,5	19,05	5,6	10,5	1,9	13,88
Inf.	A	5,2	10	1,5	16,3	5,1	5,3	1,3	9,98	5,5	14,1	1,4	17,90	6,1	11,2	1,7	14,26
	B	5,7	10,8	1,6	14,66	5,4	4,4	1,6	8,20	5,6	12,9	1,5	16,36	5,1	11,5	1,6	15,48
	C	6,2	9,3	1,7	13	5,3	3,3	1,5	6,97	5,7	6,3	1,6	9,45	5,4	10,4	1,7	14,39
Média		5,84	10,90	1,62	14,96	5,08	3,14	1,13	7,10	5,70	13,50	1,52	17,30	5,58	12,78	1,63	16,73
Desv Pad		0,29	1,95	0,23	2,08	0,27	1,41	0,38	2,18	0,18	4,14	0,14	4,37	0,34	2,19	0,12	2,77

O Potencial hidrogeniônico (pH), é classificado em uma escala de 0 a 14, considerando 7 como pH neutro, valores acima indicam alcalinidade e abaixo indicam acidez EMBRAPA (2006). Os valores de pH dos solos encontram-se em intervalo de 4 a 7 (LIMA, 2003). Os valores menores indicam presença de ácidos livres e valores acima indicam a presença de solos salinos ou calcários.

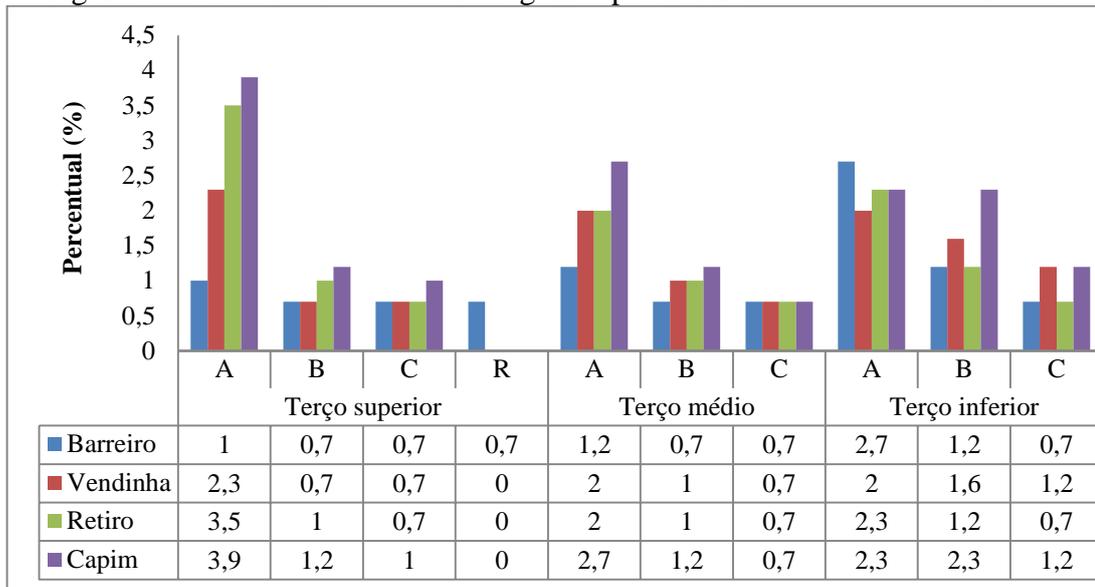
Em todas as amostras, os resultados obtidos indicaram pH inferior a 7, caracterizando que todos esses solos amostrados são considerados ácidos ($\text{pH} < 7$). Guerra (2007) afirma que o pH dos solos mostra a acidez ou alcalinidade do mesmo, considerando que os solos ácidos são deficientes em cálcio que contribui para retenção do carbono, através da formação agregados que combinam húmus e cálcio.

Toda substância morta no solo é considerada matéria orgânica, seja ela proveniente de plantas, microrganismos ou excreções de animais. Podem-se citar como principais classes de compostos orgânicos o Húmus, sacarídeos, compostos de nitrogênio e de fósforo, que respectivamente, melhoram propriedades físicas do solo, são fontes de nutrientes para microrganismos ajudando a estabilizar os agregados do solo, fornecem nitrogênio para fertilidade do solo e são fontes de fosfato para as plantas (MANAHAN, 2013).

Quanto mais intensa for à decomposição da matéria orgânica, maior o efeito agregante sobre o solo, pois dá origem a ácidos plurônicos, que auxiliam na formação de uma estrutura de solo mais rígida. Além das substâncias agregantes, a matéria orgânica fornece aos solos ácidos orgânicos e álcoois, que são fontes de carbono para microrganismos, conseqüentemente, favorecendo a vida destes. A presença desses organismos no solo auxilia na decomposição de substâncias e geração de compostos que subsidiam o crescimento saudável de plantas (PRIMAVESI, 2002).

Para Bertoni e Lombardi (1985) quanto mais elevada a presença de matéria orgânica, maior a absorção de água, considerando a capacidade de reter “de duas a três vezes o seu peso em água” e assim contribui para elevação no índice de infiltração e redução nas perdas de erosão.

Figura 10 - Percentual de Matéria Orgânica por horizonte dos solos das erosões



O horizonte A é a camada superficial do solo e como resultado esperado, foi o horizonte que apresentou maior concentração de matéria orgânica (Figura 10) essencial para a produtividade de plantas, o que é considerada como uma medida eficaz para a recuperação de processos erosivos. (MANAHAN, 2013)

As análises realizadas em laboratório corroboram com essa teoria ao evidenciar que o teor de matéria orgânica no horizonte A da Voçoroca do Capim é consideravelmente superior às demais (Figura 10), visto que nessa área já vem sendo realizadas medidas de recuperação da área erodida principalmente com o repovoamento da vegetação.

Em todas as amostras do horizonte A das voçorocas analisadas apresentaram índice maior de matéria orgânica que os demais, evidenciando maior resistência a erosão que os demais horizontes. As demais amostras tiveram resultados igual ou inferior a 3,5% de matéria orgânica. Entende-se que, para ser considerado como solo erodível, o percentual de matéria orgânica não deve ultrapassar 3,5% conforme Lafayette et al., (2005). Guerra (2007) defende a idéia que solos com menos de 3,5% de matéria orgânica possuem agregados instáveis.

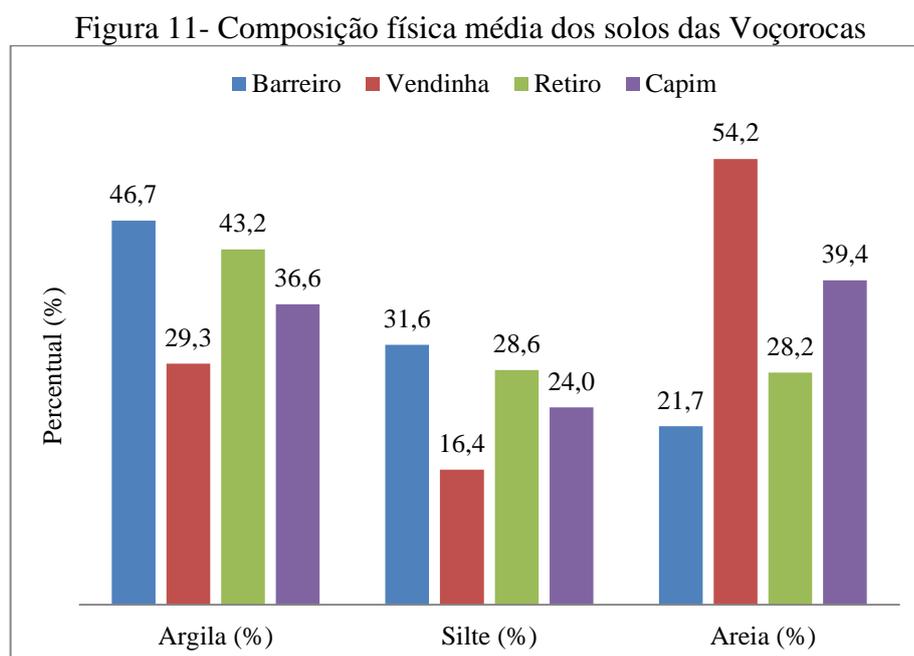
A matéria orgânica é fundamental sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. É uma das propriedades responsáveis para determinar a absorção e retenção de água, fundamental para análise de solos erodidos, se esse foi ou não um fator que contribuiu para os processos erosivos.

A Figura 10 através do resultado obtido sobre a análise de matéria orgânica por horizontes em cada erosão evidencia que o teor de matéria orgânica nos horizontes mais superficiais (A) era proporcionalmente esperado dos demais horizontes, devido o material

disponibilizado ao solo com a queda de folhas de árvores e abatimento da vegetação rasteira ou por meio da secagem de capim.

Análise de composição física

Os principais componentes do solo são areia, silte e argila, estes foram quantificados em análises laboratoriais e seus resultados apresentados na Figura 11.



Fonte: O autor.

A presença de argila é maior nas Voçorocas do Barreiro e do Retiro, sendo 46,7% e 43,2% respectivamente. A Voçoroca da Vendinha menor percentual de silte, porém o mais elevado de areia, sendo 16,4 e 54,2 respectivamente. O resultado do percentual elevado de areia já era esperado desde a coleta das amostras, considerando que a amostra do horizonte B e C do terço superior foram as que mais se destacaram na textura e coloração, devido ao elevado teor de areia, conforme imagem a seguir.

Figura 12 - Exemplo de Amostra de solo (Voçoroca Vendinha)



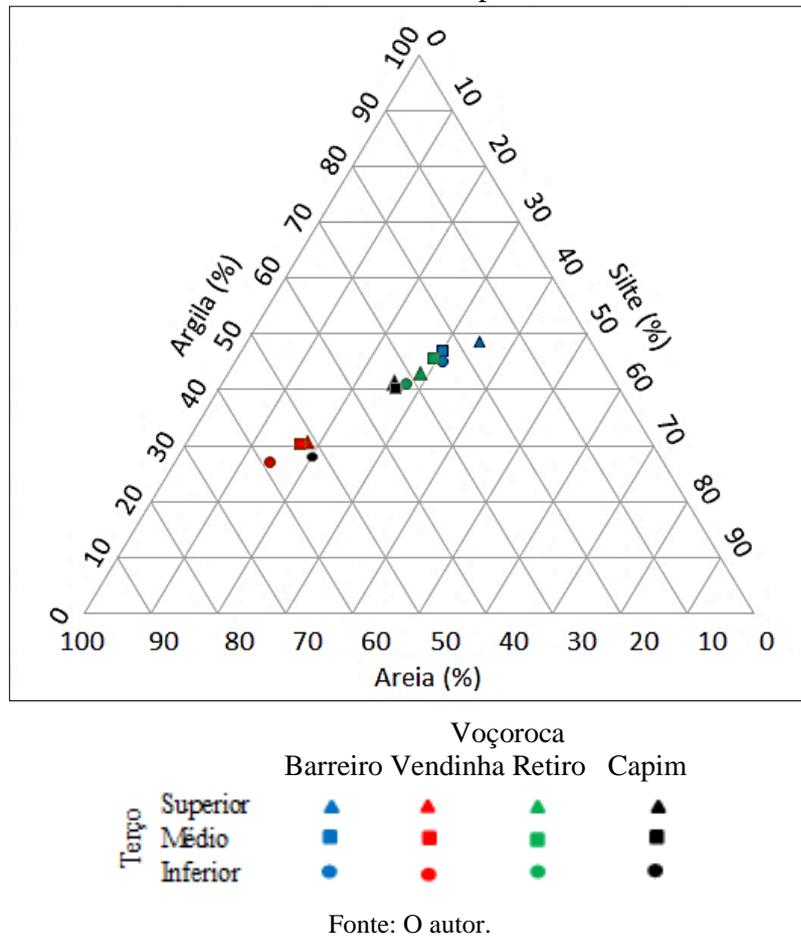
Fonte: O autor.

O percentual de areia nessas duas amostras em destaque (Figura 12) foram os seguintes: a amostra mais vermelha do terço superior pertence ao horizonte B, corresponde a 64% e de cor amarela corresponde ao horizonte C tem um percentual de areia de 56%. E é justo nesse trecho da Voçoroca da Vendinha que a erosão está mais movimentada.

A forma e tamanho das partículas do solo são aspectos básicos que delimitam as classes dentro de um Triângulo textural. A classe textural é determinada pela quantidade da composição de uma amostra de solo por meio da presença de areia, argila e silte, que determinam as propriedades físicas dos solos, como a drenagem ou retenção de água, areação e consistência dos solos.

O Triângulo textural (Figura 13) representa resultados de análises da textura do solo, as médias de areia, argila e silte de cada voçorocas por terço. As amostras da Voçoroca da Vendinha, incluindo a do terço inferior da Voçoroca do Capim foram as que mais se destacaram devido ao alto percentual de areia e baixo percentual de argila.

Figura 13 – Resultados da análise física dos solos no triângulo textural das Voçorocas Barreiro, Vendinha, Retiro e Capim, Morrinhos, GO.



A representação dos resultados da composição textural ou granulométrica do solo no triângulo textural, contribui para representação de proximidade ou dispersão das características dos solos analisados. As amostras com maior teor de areia (todas da voçoroca vendinha e as do terço inferior da voçoroca do Capim), conforme citado anteriormente, pertencem à classe textural Franco Argilo Arenoso. Já as demais são representadas pela classe textural Argila, ou seja possui quantidade de argila moderada, considerando nesse caso como solo não argiloso e nem arenoso.

Análise multivariada

A Figura 14 apresenta os dados das análises multivariadas segundo o modelo gerado da análise físico-química dos solos das quatro voçorocas, sendo que a PLS-DA da componente 1 (29,3% da variância total) componente 2 (44,5% da variância total) do perfil que diferencia as características das voçorocas, considerando a análise conjunta.

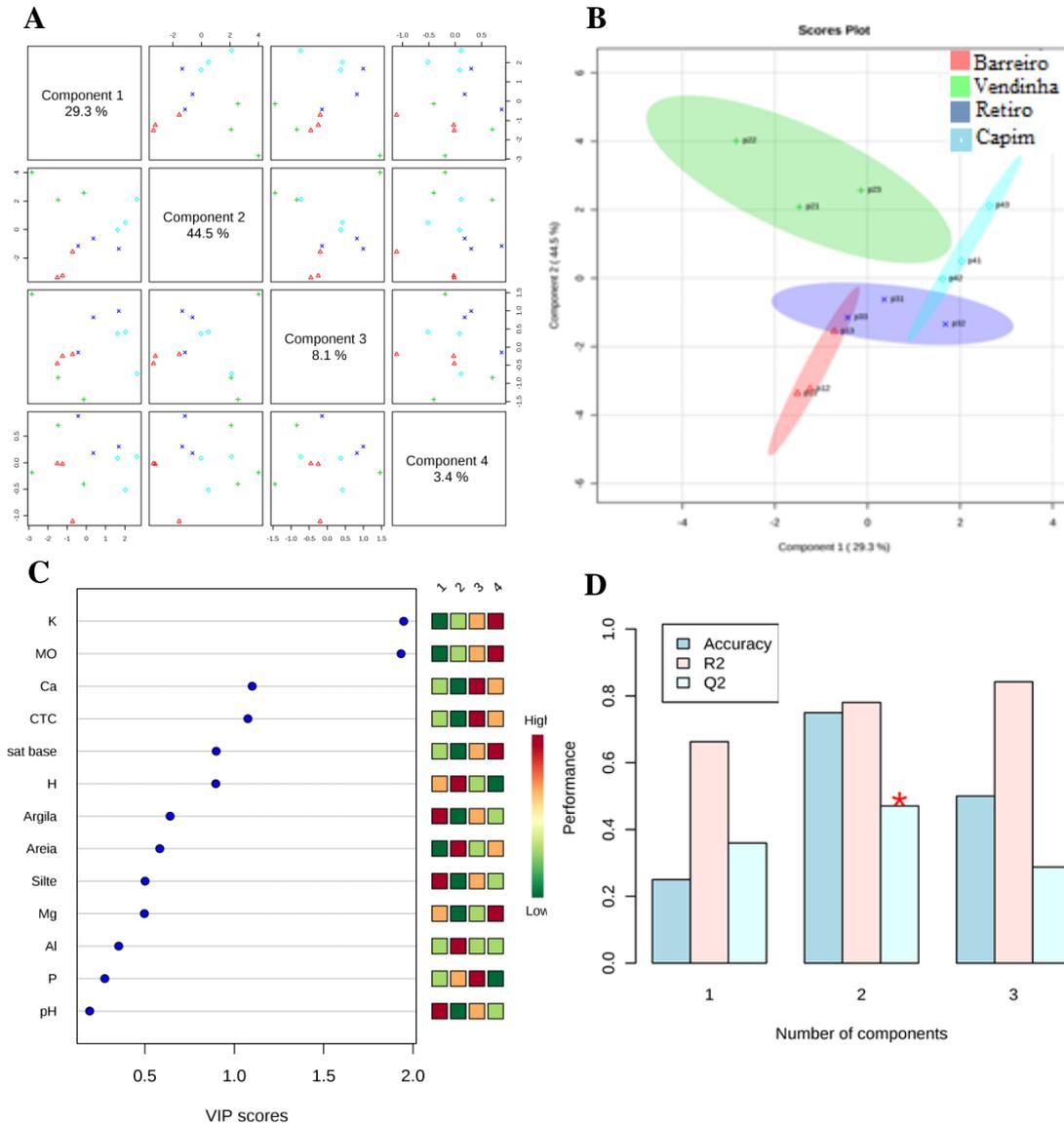
Na Figura 14B é possível verificar que o modelo diferencia as voçorocas Barreiro, Vendinha e Capim, enquanto que existem semelhanças entre a voçoroca do Retiro com as voçorocas Vendinha e Capim.

Por meio da Figura 14C, destacam os elementos de maiores pesos (SCORES), segundo a importância para diferenciar as voçorocas, em ordem de alta importância destacam os elementos de Potássio (K) e Matéria Orgânica (MO), depois em média importâncias podem ser agrupados os elementos Ca (Cálcio), CTC (Capacidade de troca de cátions), Sat Base (Saturação de Bases) e H (Hidrogênio), por último os elementos de menor peso.

Por meio da ordem de peso dos elementos, verifica-se que os fatores químicos são mais importantes do que os físicos (argila, silte e areia), destacando que pode ser não apenas o tipo de solo determina o processo de erodibilidade, bem como o uso e manejo do mesmo, podem interferir mais na antropização para a voçoroca.

Na Figura 14D é apresentado o modelo de desempenho de validação cruzada (10 vezes) dos elementos PLS-DA considerando que o modelo apresenta boa acurácia e bom desempenho (R^2), resultando em médio desempenho geral (Q^2).

Figura 14- Componentes avaliados da análise multivariada PLS-DA, com conjunto de dados químicos e físicos dos solos das voçorocas (1: Barreiro, 2: Vendinha, 3: Retiro e 4: Capim) da sub-bacia do Ribeirão Serra, município de Morrinhos, GO.



Onde; K (Potássio), MO (Matéria orgânica), Ca (Cálcio), CTC (Capacidade de troca de cátions), Sat Base (Saturação de Bases), H (Hidrogênio), Mg (Magnésio), Al (alumínio), P (fosforo), pH (potencial de hidrogênio), Areia, Silte e Argila (fatores físicos dos solo).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pastagem cultivada, substituição da vegetação original e desmatamento são fatores comuns no entorno às quatro erosões estudadas, pois a pecuária é a atividade econômica exercida nessas áreas, fato que agrava ainda mais o processo de erodibilidade, tendo em vista a compactação do solo, interferindo na infiltração da água que escoar sobre a superfície

principalmente em períodos chuvosos. Normalmente o trânsito de bovinos formam trilhas que contribuem para o início das erosões, especialmente em vertentes com maior declividade, principalmente em períodos chuvosos, provocando a remoção dos agregados entre outros fatores, à composição do solo.

A voçoroca da Vendinha é a erosão que apresenta maior composição de areia e também com maior risco à expansão por meio de instabilidades erosivas, os agravantes são os eventos chuvosos e sua fragilidade física, estrutural e deficiência de nutrientes. Apresenta taludes íngremes, em maior parte, próximo aos 90°, assim como a voçoroca do Barreiro.

As voçorocas mais estabilizadas são as do Retiro e a do Capim, ambas têm maior presença de vegetação em seu interior e menores níveis de areia na composição física do solo. É mais importante ainda é que na voçoroca do Capim já está sendo aplicada prática de preservação como a revegetação e implantação de cerca (isolamento) ao seu redor.

Por meio das análises de solo, foi possível verificar que todas as amostras resultaram em pH inferior a 7, indicando acidez do solo e conseqüentemente maior concentração de microrganismos, que tendem a aumentar o teor de matéria orgânica, uma vez que, quanto maior a quantidade de matéria orgânica menor a possibilidade de erodibilidade do solo. A alta concentração de matéria orgânica se destaca na caracterização química dessas áreas, apontando para uma possível recuperação do solo por meio da inserção de plantas de cobertura.

Essa análise remete ao entendimento de que quanto mais ácido esses solos forem se tornando, o índice de matéria orgânica aumentará e assim contribuirá para solos menos propensos aos processos erosivos. Ou seja, esse processo colabora para desenvolvimento de maior resistência do solo aos processos erosivos e que indica positivamente a diminuição do avanço das erosões e posteriormente sua estabilização.

É importante ressaltar que a evolução ou estabilização das voçorocas não está relacionada somente à composição do solo, mas também ao seu manejo, ou seja, às condições da superfície dependem do manejo aplicado sobre o mesmo, assim como todas as características e condições naturais influenciam nesses processos.

Diante da caracterização realizada, conclui-se que a Voçoroca da Vendinha apresenta menores condições de recuperação devido à composição física do solo (teor de areia elevado) e ao déficit de nutrientes, sendo necessário, portanto, um trabalho de correção química do solo para repovoamento da vegetação e a intervenção mecânica para conservação através da construção de terraços nas áreas em torno da erosão e pequenos barramentos em seu interior.

Nas demais áreas erodidas a recuperação é favorecida pela composição física composta predominantemente por argila, que auxilia na resistência do solo, acompanhada de alto teor de matéria orgânica e macronutrientes que contribuem para o repovoamento da vegetação, não ficando excluída a possibilidade de intervenções mecânicas, assim como na anterior, para que o processo de recuperação seja ainda mais eficaz.

Vale destacar que as medidas de recuperação dessas áreas devem ser concomitantes às práticas adequadas de uso e manejo do solo. O pastoreio excessivo sobre a área das quatro erosões enfraquece as plantas e reduz seu crescimento, gerando aumento no volume da voçoroca, pois o solo fica com sua camada superficial parcialmente descoberta.

É possível verificar que o modelo de análise multivariada (PLS-DA) diferencia as voçorocas Barreiro, Vendinha e Capim, enquanto que existem semelhanças entre a voçoroca do Retiro com as voçorocas Vendinha e Capim. Por meio da ordem de peso dos elementos, verifica que a parte química é mais importante do que os fatores físicos (argila, silte e areia), destacando que não o tipo de solo, mas o uso e manejo do mesmo, podem interferir mais na antropização para a voçoroca.

REFERÊNCIAS

ASSIS, A. P. O.; GIONGO, P. R.; SILVA, J. H. T.; PESQUEIRO, M. A.; GOMES, L. F.; Suscetibilidade erosiva da bacia hidrográfica do Córrego da Formiga, Quirinópolis/GO. **Revista Espacios** [on-line]. v.38. n. 42. Caracas, Venezuela. 2017 Disponível em <<http://www.revistaespacios.com/a17v38n42/17384202.html>> ISSN 0798 1015.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Piracicaba: Livro Ceres, 1985. 372 p.

BRAGHIROLI, T. L. P.; **Implicações naturais e antrópicas responsáveis pelo desencadeamento de feições erosivas no Parque do Goiabal em Ituiutaba (MG)**. Catalão, GO. Originalmente apresentada como Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Goiás, Catalão 2017.

CASTRO, S. S. Erosão Hídrica na Alta Bacia do Rio Araguaia: Distribuição, Condicionantes, Origem e Dinâmica Atual. **Revista do Departamento de Geografia**. v.17 p. 38-60, 2005.

CLIMATE-DATA.ORG; **Clima: Morrinhos**. 2017. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/location/43441/>> Acesso em 03 set. 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2ª edição. Rio de Janeiro: EMBRAPA – SPI, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2011. 230p.

GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos**. 7 ed. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2007.472p

LAFAYETTE, K. P. V.; COUTINHO. R. Q.; QUEIROZ, J. R. S. Avaliação da erodibilidade como parâmetro no estudo de sulcos e ravinas numa encosta no cabo de Santo Agostinho – PE. In IV Conferencia Brasileira sobre estabilidade de encostas (COBRAE), **Anais**. Salvador, BA. 2005, p.387-399.

LIMA, M.C. **Degradação físico-química e mineralógica de maciços junto às voçorocas**. 2003. 336p. Originalmente apresentada como Tese de Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental – Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil Universidade de Brasília, Brasília.

MANAHAN, S. E. **Química ambiental**. 9.ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 912 p.

METABOANALYST. **A comprehensive tool for metabolomics analysis and interpretation**. 2018. Disponível em <http://www.metaboanalyst.ca/>. Acesso em 16 de mar. 2018.

NAVARRO, G.R.B.; ZANARDO, A.; CONCEIÇÃO, F. T. O Grupo Araxá na Região Sul-Sudoeste do Estado de Goiás. **Revista Geologia-USP, Série Científica**, v. 13, n. 2, p. 5-28, 2013.

OLIVEIRA, F. L; JESUS, B. M. M.; SILVA, J. E. B.; GUERRA, A. J. T.; SILVA, S. C. P. **Análise das partículas do topo do solo das sub-bacias do rio Tindira e córrego do Catonho, cidade do Rio de Janeiro, com fins de identificar sua importância no processo erosivo**. Simpósio Erosão - IESA/UFG. 2011. Disponível em: http://www.labogef.iesa.ufg.br/links/simpósio_erosao/textos/. Acesso em: 14 mar. 2018.

OLIVEIRA. A. G; SOUSA. A. T; Especificidades das precipitações pluviométricas na microrregião meia ponte no sul de Goiás e sua relação com a ocorrência de processos erosivos. In: SILVA. M. V; PESQUERO. M. A (Orgs). **Caminhos interdisciplinares pelo ambiente, história e ensino: o sul goiano no contexto**. Uberlândia (MG): UEG (Morrinhos); Assis Editora, 2012.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 2002. 549 p.

PRUSKI, F. F. Processo físico de ocorrência da erosão hídrica. In: PRUSKI, F. F. **Conservação de solo e água: Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. 2.ed. Viçosa: Ed. UFV. 2009. 279p.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades físicas do solo**. Universidade Federal de Santa Maria – Centro de Ciências Rurais. 2006. Disponível em: https://www.agro.ufg.br/up/68/o/An_lise_da_zona_n_o_saturada_do_solo_texto.pdf. Acesso em 25 set. 2017.

SANTOS, R. D.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C; SHIMIZU, S. H. **Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo**. 7ª edição – Revisada e ampliada. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciências de Solo, 2015. 101p.

SIEG - SISTEMA ESTADUAL DE ESTATÍSTICA E INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS DE GOIÁS. **Base Cartográfica**. 2017. Disponível em: <<http://www.sieg.go.gov.br>>. Acesso em: 25 set. 2017.

SILVA, V. C.; MACHADO, P. S. “SIG na análise ambiental: suscetibilidade erosiva da bacia hidrográfica do Córrego Mutuca, Nova Lima – Minas Gerais”. **Revista de Geografia**. Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, v. 31, n. 2, mar. 2014.

SILVA, V. C.; MACHADO, P. S. “SIG na análise ambiental: suscetibilidade erosiva da bacia hidrográfica do córrego Mutuca, Nova Lima – Minas Gerais”. **Revista de Geografia**. v. 31, n. 2, p. 66-87. 2014.

TAVEIRA, J. H. da S., BORÉM, F. M., FIGUEIREDO, L. P., REIS, N. FRANCA, A. S., HARDING, S. A., TSAI, C. Potential markers of coffee genotypes grown in different Brazilian regions: A metabolomics approach. **Food Research International**. v.61, p. 75-82. 2014.

CAPÍTULO 2

VULNERABILIDADE EROSIVA DO SOLO NA PARTE SUL DA BACIA MEIA PONTE, GO

RESUMO:

O objetivo desse capítulo foi compreender a vulnerabilidade erosiva do solo na parte sul da bacia Meia Ponte em Goiás, por meio da metodologia de análise de multicritério que consiste na atribuição de pesos para variáveis vulneráveis a erosão. A partir da elaboração de mapas fisiográficos da área de estudo, buscou-se avaliar a vulnerabilidade do solo quanto à condição ação natural e antrópica. O mapeamento permitiu a caracterização e análise das variáveis que contribuem para a suscetibilidade erosiva, considerando: a litologia, classe de solos, declividade do terreno, intensidade de chuva, índice de vegetação, proximidades de vias e uso do solo. Há um aumento na suscetibilidade erosiva do solo na condição antrópica em relação à condição natural e o principal fator agravante é o uso do solo.

Palavras-chave: SIG; suscetibilidade erosiva, análise multicritérios.

INTRODUÇÃO

Os estudos geomorfológicos para prevenção de desastres ambientais ajudam a melhorar o planejamento e gestão da área ou do ambiente ocupado. A geomorfologia apresenta o estudo das formas de relevo e seus processos. O relevo e as águas superficiais são elementos que integram o clima, a vegetação e os solos, fazem parte dos sistemas ambientais físicos (CHRISTOFOLETTI, 2011).

Com o crescimento populacional e a exploração intensa dos recursos naturais, acaba por comprometer o meio ambiente, especialmente a água e o solo. Quando intensifica o uso do solo para atividades agrícolas, em geral elimina a cobertura vegetal e contribui para o desencadeamento dos processos erosivos, que dependem também das características do solo (ZANATA, 2012).

A geomorfologia tem importantes contribuições para os estudos e planejamento de áreas urbanas e rurais, uma vez que o desenvolvimento tem se dado em um ritmo acelerado, e muitas vezes não obedece às características e limitações naturais do ambiente. Sendo assim, as formas erosivas, consequências diretas dos processos erosivos, podem levar à situação de risco à população residente em áreas ocupadas ou ainda perda de área produtiva no caso do ambiente rural. Normalmente esses processos erosivos tendem a se instalar em ambientes naturalmente frágeis (CHRISTOFOLETTI, 2011).

Considerando a importância de conhecer e buscar medidas de controle a erosões, as análises geomorfológicas e as técnicas de Geoprocessamento têm sido relevantes nesses estudos. Com a utilização de mapeamentos temáticos é possível identificar feições erosivas e áreas propensas à erosão, além de facilitar a análise das variáveis ambientais naturais ou antrópicas que tenham ocorrido para a ocorrência de erosões e em paralelo a esse tipo de análise é importante verificar ou elaborar medidas de controle.

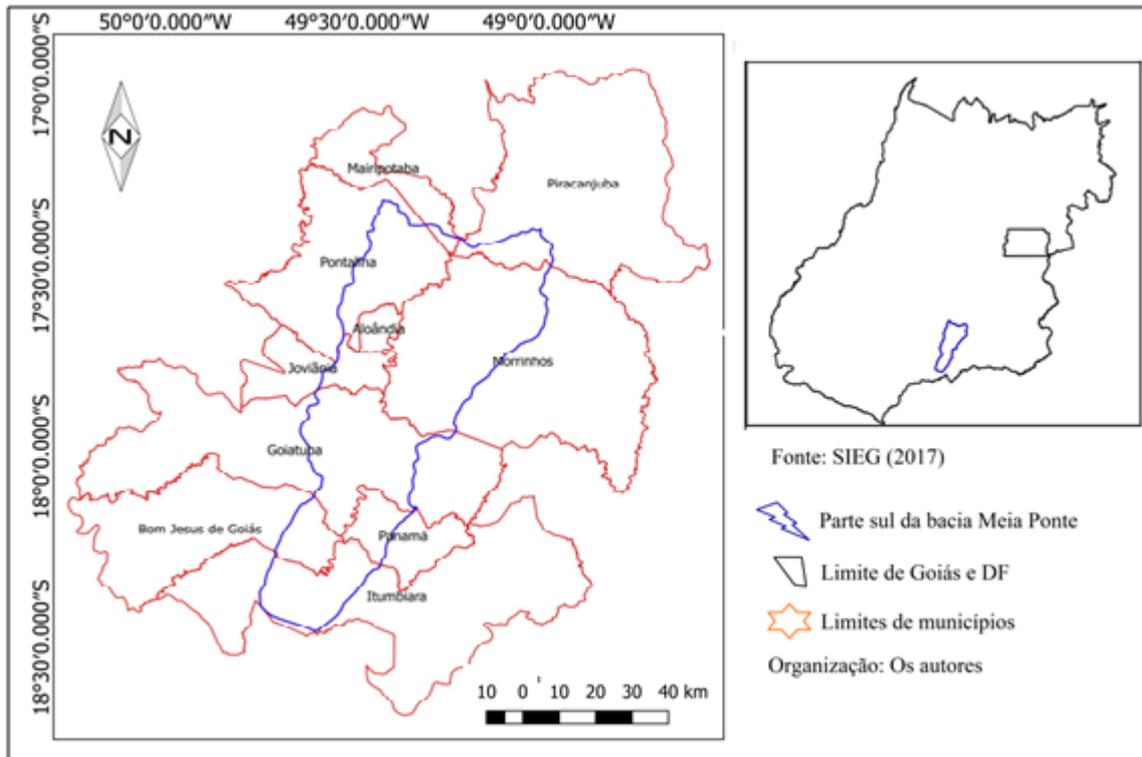
Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), em conjunto com as técnicas de geoprocessamento, permitem acúmulo de informações, assim como representações cartográficas dos problemas ambientais monitorados. Essa técnica é bastante eficaz para análise do uso e ocupação do solo (ZANATA, 2012).

No geral os processos erosivos prejudicam áreas naturais, causando perda de solo, degradação dos recursos hídricos além de riscos a população que reside próximo às erosões, ou de veículos e máquinas agrícolas que circulam nas proximidades. Diante do exposto objetivou-se avaliar a vulnerabilidade erosiva dos solos na região sul da bacia Meia Ponte, Goiás, considerando as condições de cobertura natural e antrópica.

MATERIAL E MÉTODOS

A área estudada (Figura 1) estende-se como o principal curso d'água do estado de Goiás, considerando a parte sul da Bacia do Rio Meia Ponte que por sua vez deságua no Rio Paranaíba tributário do Rio Paraná. Esta bacia é a segunda maior Bacia da América do Sul. A região estudada abrange parcialmente dez municípios goianos, conforme localização geográfica.

Figura 3 - Localização geográfica da parte sul da bacia hidrográfica Meia Ponte, GO.



As informações geográficas necessárias para o estudo foram obtidas através do acesso e aquisição de informações em órgãos oficiais. As feições necessárias para as análises são: Litologia, classe de solos, declividade, intensidade de chuva, índice de vegetação, proximidades de vias e uso do solo. Os dados de entrada na análise multicritério foram processados no *software* QGIS v. 2.18 para a obtenção dos planos de informações (mapas temáticos).

A base cartográfica, litologia e classe de solo foram disponibilizadas pelo Sistema Estadual de Geoinformação (SIEG, 2017). As informações foram recortadas para o polígono da sub bacia. O *Layer* de proximidade de vias foi criado pela ferramenta de *buffer*, com distâncias de 5, 10, 25 e 50 metros, como referência os dados de rodovias do Estado de Goiás (SIEG, 2017).

Os dados de altimetria do terreno foram obtidos por meio de dados do TOPODATA (INPE, 2017), disponíveis em cartas (4° x 6°, carta ao milionésimo), acessadas por meio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Através dos dados de altimetria foram processadas as imagens para obtenção do mapa de declividade.

Os dados de precipitação foram obtidos por meio da estação meteorológica registrada sob o número 1749003, do Instituto Nacional de Meteorologia, a qual está sob a

responsabilidade da UEG (Campus Morrinhos), localizada nas coordenadas latitude 17,72° S, longitude 49,10° O, altitude 814m, Morrinhos, GO. A elaboração do mapa de intensidade de chuvas foi realizada por meio dos dados anuais de precipitação, e considerando a referência do trabalho de (OLIVEIRA; SOUSA, 2012).

O mapa de uso e cobertura do solo e o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) foram obtidos por meio das imagens do satélite Landsat-8, órbita 222, ponto 072, com passagem no dia 10/04/2017, as quais foram obtidas pelo catálogo de imagens do INPE (2017). Além das imagens do satélite Landsat 8, também imagens do *Google Earth*, foram utilizadas como auxílio para identificação dos uso e ocupação do solo. O mapa de uso e cobertura do solo foi obtido pela classificação supervisionada (MAXVER) no *software* QGIS v. 2.18.

Para o cálculo do NDVI foi utilizado a imagem do Landsat 8, por meio da diferença entre as refletâncias das bandas 5 (infravermelho próximo) e 4 (vermelho) dividido pela soma das refletâncias dessas duas bandas. Obtendo como resultado valores compreendidos entre -1 a 1, sendo maior índice de vegetação indicando a presença de vegetação os valores próximos de 1 e presença de solos descobertos, e os valores próximos de -1 e/ou menores de 0 (zero), como coberturas de água.

A metodologia de análise de multicritério consiste na atribuição de pesos para as variáveis que representam riscos vulneráveis a erosão (SILVA; MACHADO, 2014). Sendo a metodologia aplicada na parte sul da bacia do Meia Ponte, através da relação entre as atividades de uso e ocupação do solo presentes na bacia. A partir dos mapas gerados na caracterização fisiográfica da área de estudo, foi elaborado o mapa final por meio do método de álgebra, ou seja, a aplicação de operações aritméticas, dos mapas de litologia, classes do solo, declividade, intensidade de chuva, índice de vegetação, proximidade de vias e uso do solo.

Para cada variável (mapa), são estabelecidos pesos de acordo com suscetibilidade erosiva para meio natural e outra antrópica, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Pesos e variáveis aplicados aos mapas temáticos, para geração de áreas suscetíveis à erosão.

Mapas	Suscetibilidade erosiva por meios naturais	Suscetibilidade erosiva por atividades antrópicas
	Peso (0 a 100)	Pesos (0 a 100)
Litologia (L)	10	6
Classes do solo (S)	25	13
Declividade (D)	25	13
Intensidade de chuva (C)	15	8
Índice de vegetação (V)	25	13
Proximidade de vias (PV)	-	12
Uso do solo (US)	-	35
Total	100	100

Fonte: Silva; Machado, (2014).

Para geração do mapa final de suscetibilidade, as variáveis foram organizadas em arquivos matriciais, atribuindo pesos as variáveis de acordo com as seguintes equações:

a) Suscetibilidade erosiva natural:

$$(Lx10) + (Sx25) + (Dx25) + (Cx15) + (Vx25) \quad (\text{Equação 1})$$

Em que: L: Litologia, S: Classes do solo, D: Declividade, C: Intensidade de chuvas, V: Índice de vegetação.

b) Suscetibilidade erosiva antrópica:

$$(Lx6) + (Sx13) + (Dx13) + (Cx8) + (Vx13) + (PVx12) + (USx35) \quad (\text{Equação 2})$$

Em que: L: Litologia, S: Classes do solo, D: Declividade, C: Intensidade de chuvas, V: Índice de vegetação, PV: Proximidades de vias e US: Uso do solo.

Para os componentes de cada mapa, foram atribuídas notas de 1 a 5, conforme características que tendem a favorecer a formação de processos erosivos. Para a elaboração dos mapas com pesos, foi necessário a conversão dos dados em arquivos vetoriais e reclassificar de acordo com as informações da Tabela 2.

Tabela 2 - Notas estabelecidas para os componentes das variáveis a suscetibilidade à erosão.

Variável	Componente de Legenda	NOTA (1 - 5)
Litologia	Canga, Concentrações de óxidos de ferro, Corpos de minério de hematita, Diabásio, Formação ferrífera, Itabirito, Lentes de hematita, Quartzito, Quartzo	1
	Metabasalto, Sericita, Serpentinó	2
	Filito, Xisto, Cobertura detrítico-laterítica	3
	Conglomerado polimítico, Talco	4
	Aluvião, Coluvião, Dolomito	5
Classe de solo	Latossolo	1
	Área sem classificação	2
	Exposição de Canga	3
	Cambissolo	4
	Neossolo / Área degradada	5
Declividade (%)	0 - 2	1
	2 - 6	2
	6 - 20	3
	20 - 50	4
	>50	5
Intensidade das chuvas	Baixa	2
	Alta	4
Vigor de vegetação (NDVI)	Alto Vigor (0,490 - 1)	1
	Médio Vigor (0,341 - 0,490)	2
	Baixo Vigor (0,215 - 0,34)	3
	Baixíssimo Vigor/Ausência (0,066 - 0,215)	4
	Ausência Vegetação (-1 - 0,066)	5
Proximidade de vias	Buffer acima de 50 metros	1
	Buffer de 50 metros	2
	Buffer de 25 metros	3
	Buffer de 10 metros	4
	Buffer de 5 metros	5
Uso do solo	Mata/Natural	1
	Culturas	2
	Campo gramíneo (pastagem)	3
	Solo exposto	4
	Área urbanizada	5

Fonte: Adaptado de Silva; Machado, (2014)

As notas das variáveis foram adotadas a partir da metodologia de Assis et al., (2017), os quais foram adaptados de Silva; Machado, (2014). Após a elaboração dos mapas finais, foram convertidos em arquivos vetoriais para quantificar as áreas (ha) e percentuais em cada classe de vulnerabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mapeamento permitiu a caracterização da parte sul da bacia do Rio Meia Ponte com relação a fatores geomorfológicos. As feições analisadas propiciaram o entendimento dos aspectos da região, como aptidão agrícola, áreas suscetíveis a processos erosivos com ação antrópica e natural.

A qualidade dos recursos hídricos depende das condições naturais como a declividade, tipos de solos e cobertura vegetal, entre outros elementos dentro de uma bacia hidrográfica. Os problemas ocorrem a partir da forma que é explorado o solo, onde o ambiente sofre consequências das ações antrópicas, que permitem os processos de erosão e assoreamento nos mananciais (BOTELHO, 2005).

Conforme afirma Santos, (2004), a geologia, declividade e o relevo contribuem para compreensão das características do terreno. Quanto às práticas de uso sustentável dos recursos naturais, devem ser de forma a impactar o mínimo possível o ambiente.

No geral a formação Litológica da parte sul da bacia do Rio Meia Ponte apresenta aspectos de pouca influência para a degradação, considerando as áreas com classificação entre alta e muito alta (Figura 2A).

O solo nessa área é classificado como Latossolo, normalmente caracterizado pelo elevado índice de concentração de argila, apresenta suscetibilidade erosiva em maior extensão classificada como muito baixa e em outras pequenas proporções classificada como alta e muito alta (Figura 2B).

A declividade do terreno apresenta classes de muito baixa, baixa, média e alta suscetibilidade erosiva, considerando que na maior parte dessa área a declividade é classificada como baixa, o que pode ser atribuído à predominância de relevo suavemente ondulado em direção às margens dos córregos (Figura 2C).

De acordo com (OLIVEIRA, SOUSA, 2012), a precipitação média na região varia de 1.250 a 1.750mm anual, faixa que caracteriza a baixa suscetibilidade aos processos erosivos. Ocorrem chuvas esporádicas com boa distribuição temporal, na maioria das ocorrências a capacidade do solo para infiltração da água da chuva não se distanciam muito, evitando novos processos erosivos (Figura 2D).

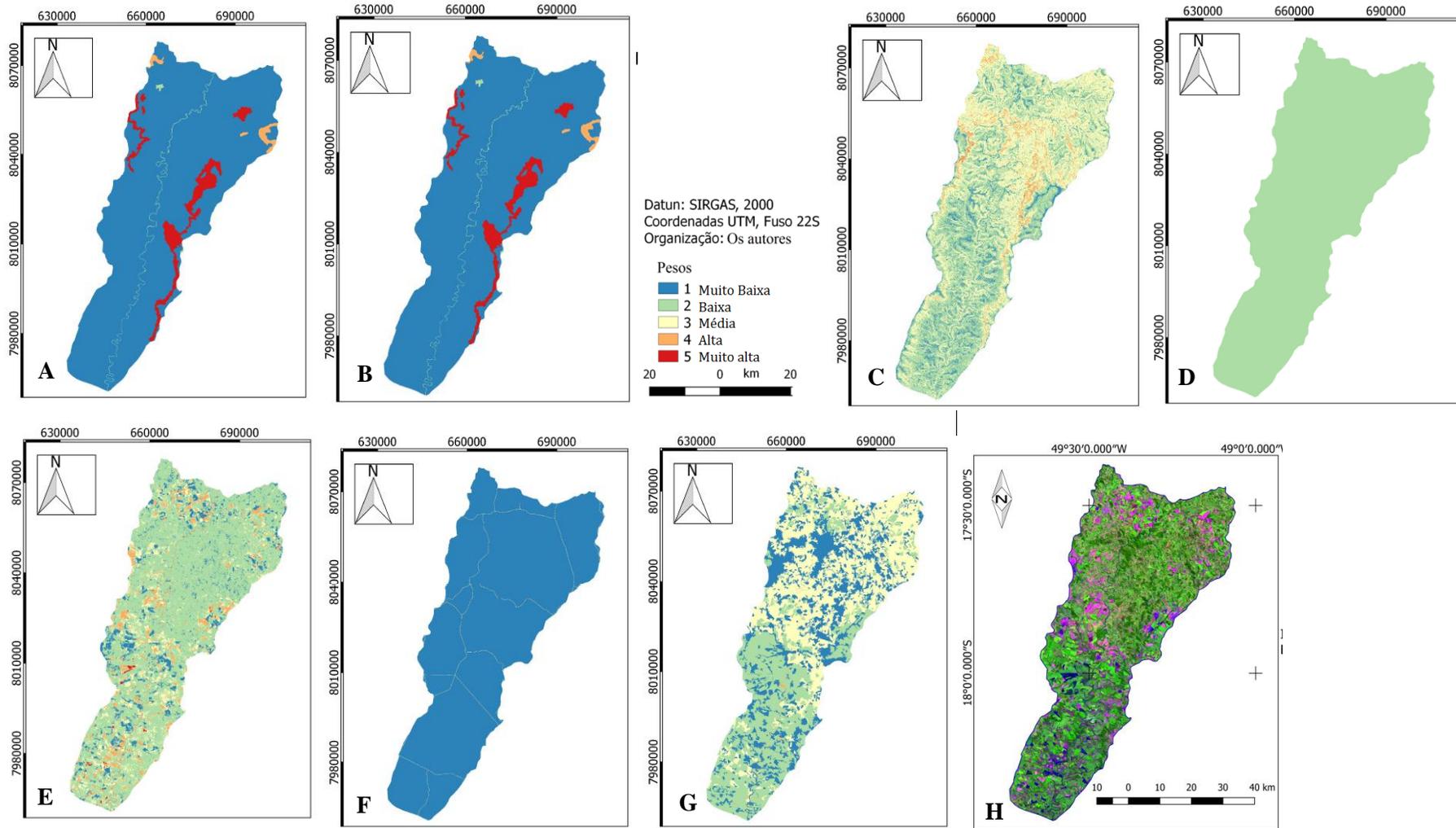
O NDVI evidencia o vigor da cobertura vegetal sobre o solo, que reduz o impacto causado pela força das gotas de chuva sobre o solo, além de diminuir a velocidade do fluxo de água sobre a superfície e minimizar a remoção e transportes de agregados. Nessa área

estudada observou o vigor de vegetação como baixa na maior parte da área e as demais classificadas com muito baixa, média e alta (Figura 2E).

Nas áreas próximas às rodovias a influência para suscetibilidade erosiva é classificada como alta, e diminuindo à medida que há o distanciamento da rodovia. O tráfego intenso de veículos tende a contribuir para a intensificação dos processos erosivos, sendo os sulcos os mais comuns às margens das rodovias (Figura 2F).

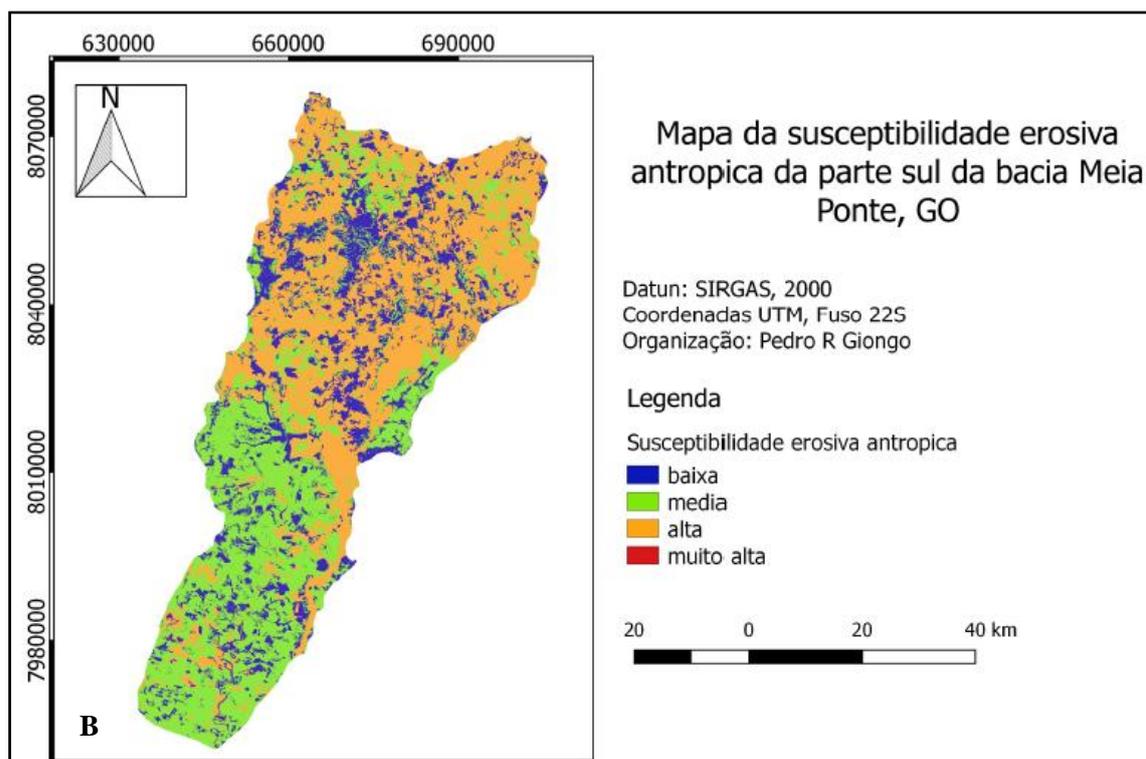
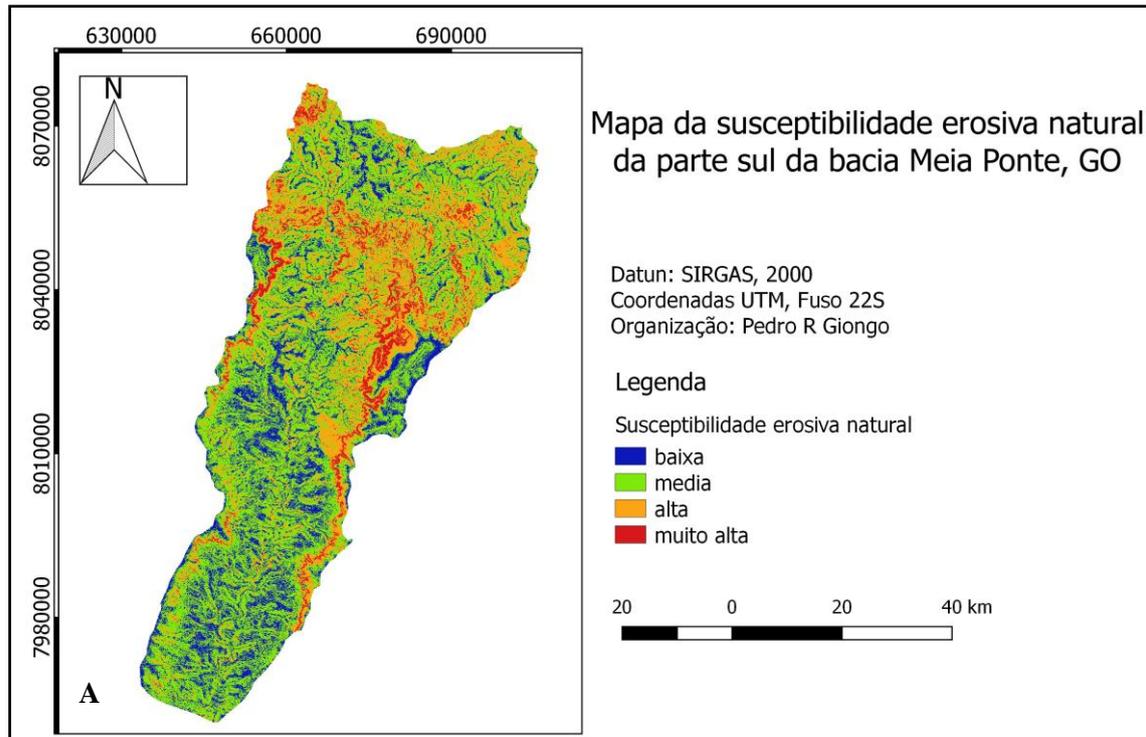
O uso do solo é o fator que mais contribui para suscetibilidade erosiva, principalmente quanto há exploração por meio de atividades agrícolas. Esse uso do solo é identificada como muito baixa, baixa e média (Figura 2G).

Figura 2 - Reclassificação das variáveis para a suscetibilidade para Litologia (A), Classe de solos (B), Declividade (C), Intensidade das chuvas (D), Vigor de vegetação (E), Proximidade de vias (F), Uso do solo (G), e imagem Landsat 8, composição R6G5B4 (H).



A suscetibilidade erosiva natural é classificada como média e baixa em maior proporção da bacia, (Figura 3A). Na área centro-norte da bacia a suscetibilidade erosiva natural é classificada como alta e muito alta.

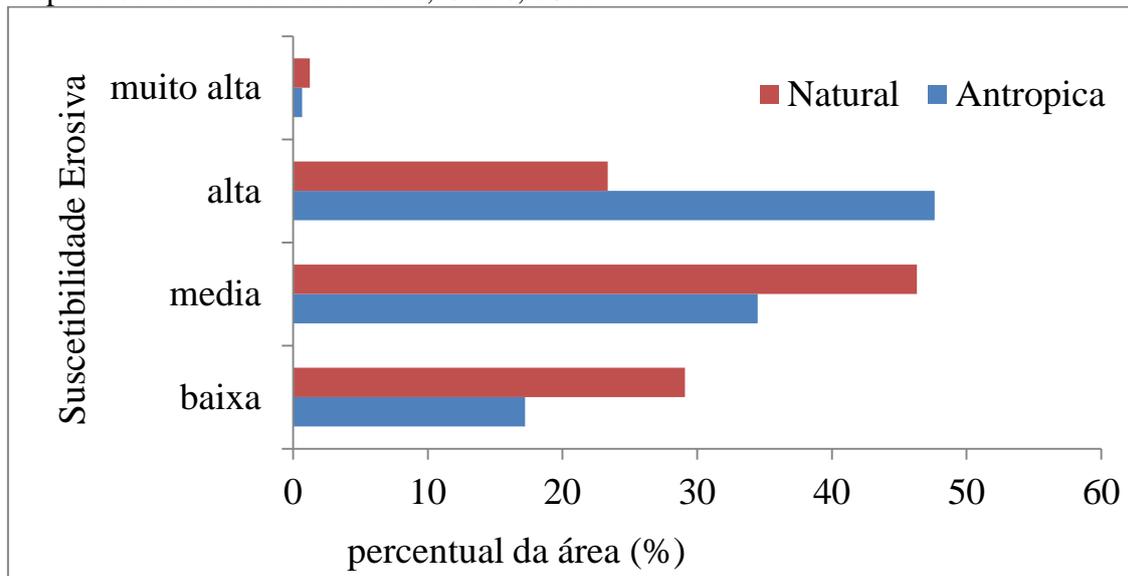
Figura 3 - Mapas de suscetibilidade erosiva natural (A) e antrópica (B) para a parte sul da bacia do Rio Meia Ponte, Goiás, 2017.



O mapa de suscetibilidade erosiva antrópica apresenta transformações na paisagem natural da parte sul da Bacia do Rio Meia Ponte, especialmente devido processo de uso e ocupação do solo, por meio dos usos para agricultura e pastagens.

As principais atividades econômicas nessa área são a agropecuária com a pecuária leiteira e agricultura com as culturas de soja, milho e cana-de-açúcar. Sendo, que todas essas atividades exigem uso intenso do solo e eleva a suscetibilidade erosiva.

Figura 4- Percentuais de áreas nas classes de Suscetibilidade Erosiva Natural e Antropizada da parte sul da bacia Meia Ponte, Goiás, 2017.



Os percentuais das áreas de suscetibilidade natural (Figura 4) concentram-se na maioria das áreas como suscetibilidade com classe média e alta. A suscetibilidade antrópica concentra-se em maior parte classificada como média e baixa. Sendo assim, por meio desses indicadores pode se considerar que a ação antrópica é a que mais influencia na suscetibilidade erosiva.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise sobre o diagnóstico ambiental é importante para o planejamento e gestão ambiental de bacias hidrográficas. O uso e ocupação do solo principalmente por meio de práticas agrícolas e agropecuárias devem ocorrer de forma a preservar o meio ambiente ou ainda causar o mínimo de impacto possível. Essa análise busca expor a fragilidade em determinado cenário ambiental e no caso desse trabalho segue por meio de análises de suscetibilidade à erosão, considerando-as como suporte para o diagnóstico ambiental.

O uso da análise multicritério permite combinar variáveis e elaborar mapas síntese. Permite análise qualitativa e quantitativa quanto à suscetibilidade erosiva, assim como as variáveis de maior peso no resultado final. Suscetibilidade à erosão pode ser aplicada em planejamento agrícola e ambiental.

A utilização das ferramentas de SIG permitiu o processamento, análise de dados georreferenciados e produção de informação. Os recursos de geoprocessamento, especialmente o SIG, foram importantes ferramentas que permitem diagnósticos para planejamento ambiental em diversos cenários.

Na parte sul da bacia do Rio Meia Ponte, o fator antrópico tem maior peso, uma vez que o processo de antropização é capaz de transformar o meio ambiente natural e conseqüentemente desencadear efeitos negativos ao ambiente. Os fatores que elevaram a classe de suscetibilidade em determinadas áreas foi o uso e ocupação do solo, o baixo índice de vegetação e a alta declividade.

A parte sul da bacia do Rio Meia Ponte, apesar de apresentar suscetibilidade erosiva natural média, na maior parte dessa área, a suscetibilidade erosiva antrópica também remete a fatores de degradação, porém, com maior intensidade, especialmente em áreas rurais cuja atividade é voltada para agricultura e pecuária. Ou seja, a suscetibilidade erosiva ou conservação do solo está diretamente relacionada às práticas de uso e ocupação do solo.

REFERÊNCIAS

ASSIS, A. P. O.; GIONGO, P. R.; SILVA, J. H. T.; PESQUEIRO, M. A.; GOMES, L. F.; Suscetibilidade erosiva da bacia hidrográfica do Córrego da Formiga, Quirinópolis/GO. **Revista Espacios** [on-line]. v.38. n. 42. Caracas, Venezuela. 2017 Disponível em <<http://www.revistaespacios.com/a17v38n42/17384202.html>> ISSN 0798 1015.

BOTELHO, R. G. M. Planejamento ambiental em micro bacia hidrográfica. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELLO, R. G. M. (Org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. 340 p.

CHRISTOFOLETTI, A. . In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S.B. da (orgs.). **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos**. 10ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011, p. 415-444.

OLIVEIRA, A. G.; SOUSA, A. T Especificidades das precipitações pluviométricas na microrregião meia ponte no sul de Goiás e sua relação com a ocorrência de processos erosivos. In: PESQUERO, M. A.; SILVA, M. V.. (Org.). **Caminhos Interdisciplinares pelo Ambiente, História e Ensino: o Sul Goiano no contexto**. 1ed. Uberlândia: v. , p. 31-48. 2012.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: Teoria e Prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 184p.

SILVA, V. C.; MACHADO, P. S. “SIG na análise ambiental: suscetibilidade erosiva da bacia hidrográfica do Córrego Mutuca, Nova Lima – Minas Gerais”. **Revista de Geografia**. Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, v. 31, n. 2, mar. 2014.

ZANATA, J. M.; PIROLI, E. L.; DELATORRE, C. C. M.; GIMENES, G. R. Análise do uso e ocupação do solo nas áreas de preservação permanente da microbacia Ribeirão Bonito, apoiada em técnicas de geoprocessamento. **Revista Geonorte**, Manaus, v. 2, n. 4, p.1262 – 1272, 2012.

ANEXOS

Tabela 1- Composição físico-química de cada horizonte da voçoroca Barreiro

TERÇO HORIZONTE	SUPERIOR				MEDIO			INFERIOR		
	A	B	C	R	A	B	C	A	B	C
pH (CaCl ₂) (Un.)	5,7	5,9	6	6	5,7	6	6,2	5,2	5,7	6,2
Ca (cmolc/dm ³)	12,6	10,8	6,6	6,3	12,9	12,4	12,7	10	10,8	9,3
Mg (cmolc/dm ³)	1,5	1,6	1,8	1,7	1,2	1,6	2,1	1,5	1,6	1,7
Al (cmolc/dm ³)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CTC (cmolc/dm ³)	16,56	14,55	10,16	9,68	17,11	15,88	16,4	16,3	14,66	13
P (Melich I) (mg/dm ³)	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1
K (cmolc/dm ³)	0,256	0,154	0,159	0,184	0,113	0,077	0,102	0,205	0,061	0,2
Mat. Org. (%)	1	0,7	0,7	0,7	1,2	0,7	0,7	2,7	1,2	0,7
Sat. Al (M%) (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sat. Base (V%) (%)	86	86	84	84	83	89	91	72	85	86
Ca/Mg (.)	8,4	6,8	3,7	3,7	10,8	7,8	6	6,7	6,8	5,5
Ca/CTC (%)	75,9	74	64,7	64,9	75,4	78	77,4	61,3	73,5	71,5
Mg/CTC (%)	9	11	17,6	17,5	7	10,1	12,8	9,2	10,9	13,1
(H+Al)/CTC (%)	13,3	13,7	15,7	15,5	17	11,3	9,1	28,2	15	13,8
K/CTC (%)	1,5	1,1	1,6	1,9	0,7	0,5	0,6	1,3	0,4	1,5
Argila (%)	53	48	45	45	48	48	45	45	42	48
Silte (%)	37	32	35	29	29	32	29	29	32	32
Areia (%)	10	20	20	26	23	20	26	26	26	20

Tabela 2 - Composição físico-química de cada horizonte da voçoroca da Vendinha

TERÇO HORIZONTE	SUPERIOR				MEDIO			INFERIOR		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
pH (CaCl ₂) (Un.)	5,1	5,3	5,2	4,8	5,0	4,5	5,1	5,4	5,3	
Ca (cmolc/dm ³)	4,7	2,8	1,0	2,7	3,0	1,1	5,3	4,4	3,3	
Mg (cmolc/dm ³)	1,4	1,1	0,4	1,0	1,3	0,6	1,3	1,6	1,5	
Al (cmolc/dm ³)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	
CTC (cmolc/dm ³)	9,80	6,06	2,41	7,86	7,01	5,58	9,98	8,20	6,97	
P (Melich I) (mg/dm ³)	2,0	1,0	1,0	2,0	2,0	1,0	1,0	3,0	3,0	
K (cmolc/dm ³)	0,200	0,164	0,113	0,161	0,107	0,077	0,184	0,205	0,169	
Mat. Org. (%)	2,3	0,7	0,7	2,0	1,0	0,7	2,0	1,6	1,2	
Sat. Al (M%) (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,0	0,0	0,0	0,0	
Sat. Base (V%) (%)	64,0	67,0	63,0	49,0	63,0	32,0	68,0	76,0	71,0	
Ca/Mg (.)	3,4	2,5	2,5	2,7	2,3	1,8	4,1	2,8	2,2	
Ca/CTC (%)	48,0	45,9	41,7	34,2	42,9	19,6	53,0	53,7	47,1	
Mg/CTC (%)	14,3	18,0	16,7	12,7	18,6	10,7	13,0	19,5	21,4	
(H+Al)/CTC (%)	35,7	32,8	37,5	50,6	37,1	67,9	32,0	24,4	28,6	
K/CTC (%)	2,0	2,7	4,7	2,0	1,5	1,4	1,8	2,5	2,4	
Argila (%)	27,0	42,0	23,0	29,0	31,0	31,0	29,0	29,0	23,0	
Silte (%)	15,0	26,0	13,0	15,0	18,0	18,0	15,0	15,0	13,0	
Areia (%)	58,0	32,0	64,0	56,0	51,0	51,0	56,0	56,0	64,0	

Tabela 3 - Composição físico-química de cada horizonte da voçoroca do Retiro

TERÇO HORIZONTE	SUPERIOR			MEDIO			INFERIOR		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
pH (CaCl ₂) (Un.)	5,4	5,8	6,0	5,6	5,9	5,8	5,5	5,6	5,7
Ca (cmolc/dm ³)	15,1	9,5	9,7	19,5	18,8	15,6	14,1	12,9	6,3
Mg (cmolc/dm ³)	1,4	1,4	1,8	1,4	1,7	1,5	1,4	1,5	1,6
Al (cmolc/dm ³)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CTC (cmolc/dm ³)	20,50	12,91	13,73	23,55	22,29	19,05	17,90	16,36	9,45
P (Melich I) (mg/dm ³)	2,0	1,0	10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
K (cmolc/dm ³)	0,205	0,210	0,435	0,445	0,486	0,353	0,097	0,061	0,051
Mat. Org. (%)	3,5	1,0	0,7	2,0	1,0	0,7	2,3	1,2	0,7
Sat. Al (M%) (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sat. Base (V%) (%)	81,0	86,0	87,0	91,0	94,0	91,0	87,0	88,0	84,0
Ca/Mg (.)	10,8	6,8	5,4	13,9	11,1	10,4	10,1	8,6	3,9
Ca/CTC (%)	73,7	73,6	70,8	83,0	84,3	81,7	78,8	78,7	66,3
Mg/CTC (%)	6,8	10,9	13,1	6,0	7,6	7,9	7,8	9,1	16,8
(H+Al)/CTC (%)	18,5	14,0	13,1	9,4	5,8	8,4	12,8	11,6	15,8
K/CTC (%)	1,0	1,6	3,2	1,9	2,2	1,8	0,5	0,4	0,5
Argila (%)	29,0	50,0	50,0	39,0	53,0	45,0	39,0	42,0	42,0
Silte (%)	20,0	33,0	33,0	25,0	37,0	26,0	25,0	32,0	26,0
Areia (%)	51,0	17,0	17,0	36,0	10,0	29,0	36,0	26,0	32,0

Tabela 4 - Composição físico-química de cada horizonte da voçoroca Capim

TERÇO HORIZONTE	SUPERIOR			MEDIO			INFERIOR		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
pH (CaCl ₂) (Un.)	5,4	6,0	5,8	5,1	5,7	5,6	6,1	5,1	5,4
Ca (cmolc/dm ³)	16,4	11,8	12,8	16,3	14,1	10,5	11,2	11,5	10,4
Mg (cmolc/dm ³)	1,5	1,5	1,6	1,7	1,5	1,9	1,7	1,6	1,7
Al (cmolc/dm ³)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CTC (cmolc/dm ³)	21,72	15,26	16,78	21,22	17,60	13,88	14,26	15,48	14,39
P (Melich I) (mg/dm ³)	1,0	1,0	1,0	3,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
K (cmolc/dm ³)	0,317	0,455	0,379	0,417	0,205	0,281	0,256	0,384	0,491
Mat. Org. (%)	3,9	1,2	1,0	2,7	1,2	0,7	2,3	2,3	1,2
Sat. Al (M%) (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sat. Base (V%) (%)	84,0	90,0	88,0	87,0	90,0	91,0	92,0	87,0	87,0
Ca/Mg (.)	10,9	7,9	8,0	9,6	9,4	5,5	6,6	7,2	6,1
Ca/CTC (%)	75,6	77,1	76,2	76,9	80,1	75,5	78,3	74,2	72,2
Mg/CTC (%)	6,9	9,8	9,5	8,0	8,5	13,7	11,9	10,3	11,8
(H+Al)/CTC (%)	16,1	9,8	11,9	13,2	10,2	8,6	7,7	12,9	12,5
K/CTC (%)	1,5	3,0	2,3	2,0	1,2	2,0	1,8	2,5	3,4
Argila (%)	37,0	45,0	42,0	29,0	50,0	42,0	25,0	34,0	25,0
Silte (%)	19,0	29,0	29,0	20,0	33,0	26,0	17,0	26,0	17,0
Areia (%)	44,0	26,0	29,0	51,0	17,0	32,0	58,0	40,0	58,0