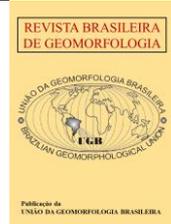


<https://rbgeomorfologia.org.br/>
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 24, n° 3 (2023)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v24i3.2384>



Artigo de Pesquisa

Relação solo-ambiente em área degradada por voçoroca no Triângulo Mineiro, Minas Gerais

Soil-environment relationship in an area degraded by gullies in the Minas Gerais state, Brazil

Guilherme Resende Corrêa ¹, Gabriel Palucci Rosa ², Maria Lúcia Furtado Coelho Campos ³, Gabriel Miranda Paranaíba Bernardes ⁴, Flávia Monize Ferreira dos Santos ⁵, Viviane Arantes Koch ⁶, Diogo Costa Nascimento ⁷

- ¹ Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Geografia, Uberlândia, Brasil. guilhermecorrea@ufu.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8763-7204>
- ² Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Geografia, Uberlândia, Brasil. gabrielpalucciufu@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8652-6956>
- ³ Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Ciências Agrárias, Uberlândia, Brasil. mlfccampos@mosaicco.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7097-5135>
- ⁴ Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Geografia, Uberlândia, Brasil. gabrielbernardes101@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-7685-3776>
- ⁵ Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Geografia, Uberlândia, Brasil. flavia_monize@hotmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1844-4581>
- ⁶ Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Geografia, Uberlândia, Brasil. vivianearantes98@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8708-5462>
- ⁷ Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Civil e Meio Ambiente, Curvelo, Brasil. diogocn@cefetmg.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6925-5891>

Recebido: 24/03/2023; Aceito: 22/07/2023; Publicado: 15/09/2023

Resumo: A degradação dos solos representa um risco atual e futuro de comprometimento de serviços ecossistêmicos. Este trabalho tem como objetivo caracterizar os atributos do solo de uma área degradada e fragmentos conservados de Cerrado no Triângulo Mineiro-MG. Para tanto, houve avaliação multitemporal de uma voçoroca por meio de fotogrametria em SIG; realizou-se trabalhos de campo com coletas em 39 pontos amostrais e descrição de 5 perfis de solo, em ambientes previamente estratificados da voçoroca; em laboratório, procedeu-se a determinação de atributos físicos, químicos e de matéria orgânica do solo e; análises estatísticas foram conduzidas. Ao longo do tempo, foi estimada uma evolução da degradação do solo de 62% na área, com avanço de 499,5 m²/ano no período de erosão mais acelerada (1964-1979) para 96,9 m²/ano (2005-2020). A ACP evidencia o ambiente de Mata como o de maior fertilidade, com vetores de matéria orgânica, soma de bases e macro e micronutrientes relacionados; testes estatísticos indicam variações entre as frações granulométricas de ambientes conservados e áreas degradadas e igualdade da matéria orgânica no Cerrado e Mata em detrimento da voçoroca. O manejo da matéria orgânica, visando sua incorporação e aumento no solo, deve ser privilegiado em projetos de restauração ambiental.

Palavras-chave: Cerrado; Erosão; Solo-Ambiente; Restauração Ambiental.

Abstract: Soil degradation represents a current and future risk of compromising ecosystem services. This paper aims to characterize the soil attributes of a degraded area and conserved Savana fragments in Minas Gerais state, Brazil. For this purpose, a multitemporal assessment of a gully using GIS was carried out; field work was carried out with collections at 39

sampling points and description of 5 soil profiles, in previously stratified environments; in the laboratory, the physical, chemical and organic matter attributes of the soil was determined and statistical analyzes was conducted. Time after time, an evolution of soil degradation of 62% of the area was estimated, going from 499.5 m²/year in the period of accelerated erosion (1964-1979) to 96.9 m²/year (2005 -2020). The PCA highlights the Mata environment as the most fertile, with associated vectors of organic matter, base saturation and macro and micronutrients; Statistical tests indicate variations between the granulometric fractions of conserved environments and degraded areas and equality of organic matter in Cerradão and Mata to the detriment of gullie. Organic matter management, aiming at its incorporation and increment in the soil, should be privileged in ecosystem restoration projects.

Keywords: Brazilian Savanna; Soil Erosion; Soil-Environment; Ecosystem Restoration.

1. Introdução

Em Minas Gerais o Cerrado é o bioma dominante, retratando um gradiente fitofisionômico que compreende formações florestais, savânicas e campestres, como áreas de Campo, Campo Rupestre, Campo Cerrado, Cerrado *Sensu Stricto*, Cerradão e Vereda. A região do Triângulo Mineiro possui uma grande diversidade de fitofisionomias de Cerrado (WALTER, 2006; SCOLFORO; MELLO; OLIVEIRA, 2008), embora a maior parte de sua área já tenha sido completamente modificada pela humanidade, e em muitos casos, com acentuada degradação do solo (CANDIDO et al., 2010).

A degradação do solo pode ser entendida como a deterioração das suas propriedades físicas, químicas e de volume (ARAÚJO et al., 2005; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2017). A erosão é um dos processos mais comuns e abrangentes de degradação, cujos níveis mais drásticos de perda de solo podem levar a ausência total de cobertura vegetal (ARAÚJO et al., 2005; TAVARES et al., 2008). A erosão ocasiona assoreamento, remoção de nutrientes e C orgânico, perda de biodiversidade, da água e da produtividade (MACHADO, 2007; CARNEIRO et al., 2009), culminando em prejuízos ambientais, econômicos e sociais com o estabelecimento de feições erosivas na paisagem (PEREIRA; RODRIGUES, 2022).

Entender como os processos erosivos se relacionam com as propriedades do solo é fundamental para planejar a recuperação das áreas degradadas (DRUMOND; BACELLAR, 2006). Assim, considerar as propriedades morfológicas, físicas e químicas do solo/substrato para a restauração do ambiente é condição chave para a composição florística a ser implantada para recuperação de áreas degradadas (RODRIGUES; GANDOLFI, 1996).

Nesse sentido, este trabalho objetivou caracterizar, quanto aos atributos morfológicos, físicos, químicos e matéria orgânica do solo, uma área degradada por voçoroca em comparação com fragmentos conservados de Cerrado na mesorregião do Triângulo Mineiro, MG.

2. Área de Estudo

A área de estudo encontra-se degradada pela atuação de processos erosivos, com uma voçoroca que em seu maior eixo possui ~ 400 m extensão. Está localizada no município de Uberlândia, Minas Gerais (Figura 1).

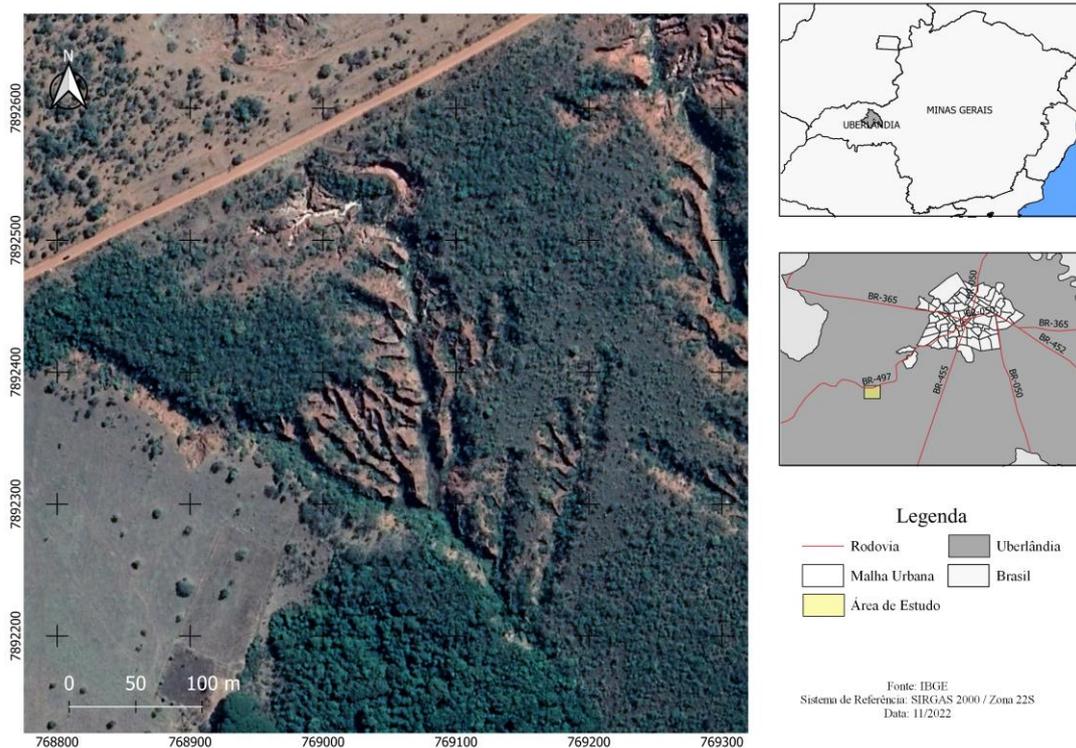


Figura 1. Localização da área de estudo. Fonte: Malhas territoriais IBGE (2022).

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é caracterizado como Tropical de Savana (Aw) com duas estações bem definidas: inverno seco e verão chuvoso. A média histórica anual da precipitação é de 1472 mm, distribuídos em 86% na estação chuvosa (primavera-verão) e 14% na estação seca (outono-inverno) (RIBEIRO; FERREIRA JÚNIOR; SILVA, 2013). A temperatura média anual é de 22,6 °C, variando entre médias de 29 °C nos meses de outubro a março (meses mais quentes) e 17,9 °C nos meses de junho e julho (meses mais frios) (NASCIMENTO; BERBERT; RIBEIRO, 2018; PETRUCCI, 2018).

A área de estudo se encontra sobre relevo mediamente dissecado com altitude aproximada de 835 m e solos provenientes dos arenitos do Grupo Bauru (GOMES et al., 1982; BACARRO, 1991). A Formação Marília que ocorre na área é constituída por arenitos finos a médios, ferruginosos e presença de lentes de cimento carbonático (BARBOSA et al., 1970). Os solos são geralmente profundos, com predominância de Latossolos Vermelhos, Vermelho-Amarelos e Amarelos de textura média (GOMES et al., 1982), que recobrem amplos interflúvios.

3. Materiais e Métodos

3.1 Tratamento da informação espacial

Para a delimitação dos ambientes, bem como análise espaço-temporal do processo de voçorocamento da área, foram utilizados: fotografias aéreas pancromáticas do município de Uberlândia (USAF, 1964; IBC/GERCA, 1979) e imagens multiespectrais de sensoriamento remoto das missões *Land Remote Sensing Satellite* (LANDSAT, 2005) e *China-Brazil Earth Resources Satellite* (CBERS 04A, 2020). Em campo houve sobrevoo com drone para avaliação detalhada da área e estabelecimento de pontos de controle georreferenciados (Figura 2).

Os procedimentos de geoprocessamento consistiram no georreferenciamento das fotografias aéreas e fotointerpretação da base cartográfica na escala de 1:1000 com geração de arquivos geoespaciais do tipo vetor (*shapefile*) para cálculo de área e perímetro. Os procedimentos e geração de layout de produtos cartográficos foram realizados com mediação do software de SIG QGIS 3.10 “A Coruña”. O sistema geodésico de referência adotado foi o SIRGAS 2000, UTM zona 22 S.

3.2 Estratificação dos ambientes e amostragem do solo

A estratificação dos ambientes delimita os espaços físicos com características ambientais distintas o suficiente para permitir sua individualização e descrição das relações entre as esferas bióticas e abióticas (TRICART; KIEWIETDEJONGE, 1992; SCHAEFER et al., 2017; RESENDE et al., 2018). Assim, a área de estudo foi estratificada para proceder a amostragem do solo da feição erosiva e considerou a porção leste da voçoroca e seu entorno. A vertente (eixo) escolhida para amostragem de solo é a que contempla com mais notoriedade a influência de gradientes de vegetação distintos (Mata e Cerradão) e é representativa da área, que compreende uma feição erosiva de grandes dimensões (Figura 2).

Assim, devido a influência fitofisionômica e características edáficas a área de estudo compreende quatro ambientes: (1) Cerradão, com fitofisionomia florestal e relevo plano; (2) Mata, com cobertura de floresta de galeria sobre relevo em formato de ravina anfiteátrica; (3) voçoroca sob a influência de Cerradão e; (4) voçoroca sob influência de Mata.

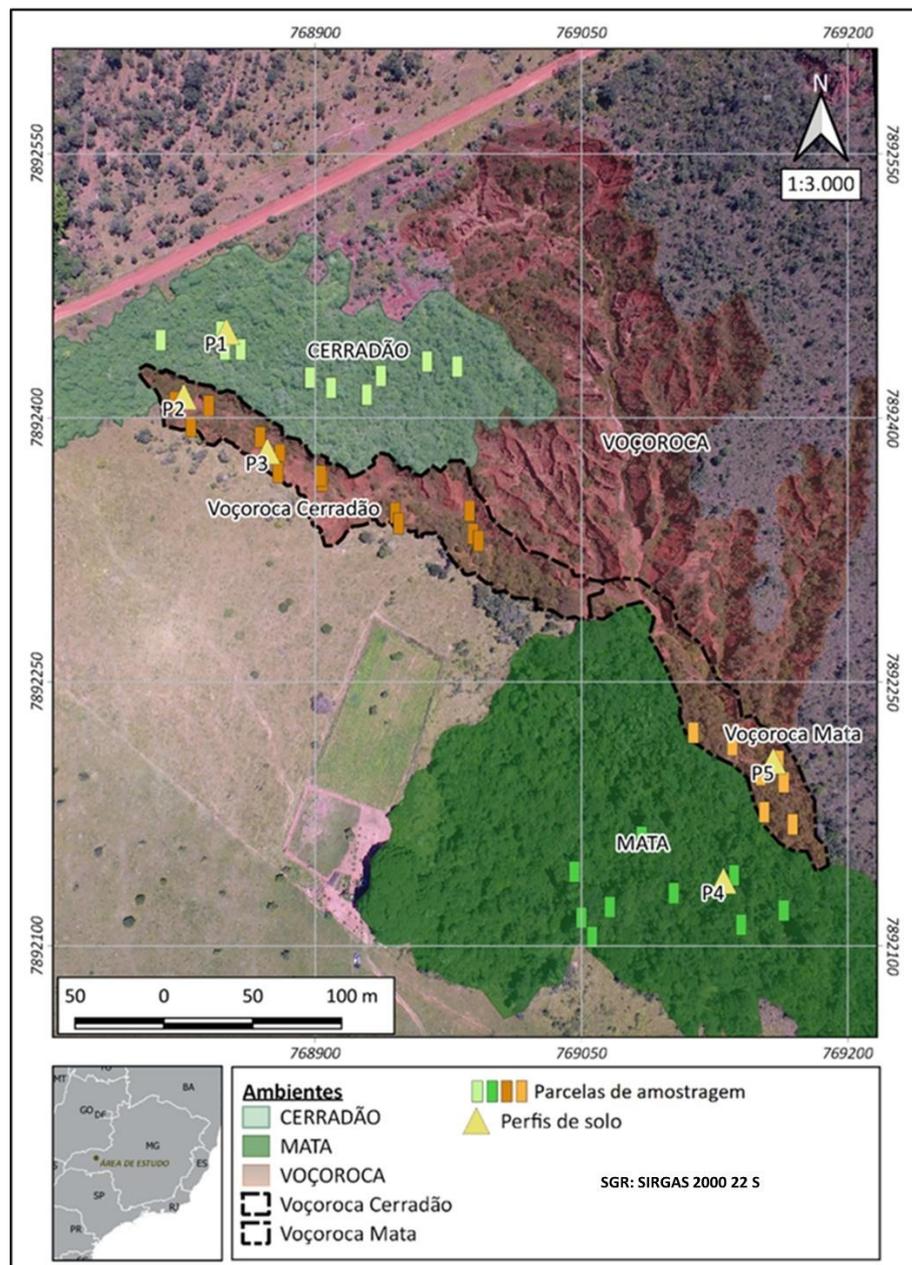


Figura 2. Ambientes definidos na área de estudo e localização dos pontos de amostragem de solo e perfis. Fonte: Autores (2018).

Para a caracterização dos solos dos ambientes, adotou-se o método da amostragem casual simples, buscando uma distribuição uniforme dos pontos amostrais nos ambientes definidos. A ampla distribuição dos pontos buscou minimizar os erros pela heterogeneidade das condições ecológicas.

Realizou-se a amostragem de solos em 39 pontos distribuídos nos ambientes de estratificação da paisagem: Cerradão: 21 amostras, sendo 10 no próprio Cerradão e 11 nas vertentes da voçoroca associadas a este ambiente; Mata: 18 amostras, sendo 9 no ambiente florestal e outras 9 na parte da voçoroca associada. As coordenadas geográficas dos pontos de coleta e de cada perfil foram obtidas utilizando-se GPS de navegação *Garmin eTrex* (Figura 2).

Em cada ponto coletou-se três amostras simples de solo de 0 a 20 cm profundidade, que foram homogeneizadas para compor uma amostra composta. Três amostras indeformadas de solo de 0 a 5 cm de profundidade foram coletadas, com anel volumétrico, próximo a cada ponto para determinação da densidade do solo.

Também foram descritos cinco perfis de solo representativos de cada ambiente (P1 - Cerradão; P2 - fundo da voçoroca em Cerradão; P3 - vertente da voçoroca Cerradão; P4 - Mata; e P5 - voçoroca Mata) (Figura 3) de acordo com os procedimentos de análise morfológica do Manual de Descrição e Coleta de Solos no Campo (SANTOS et al., 2015) e posteriormente classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2018).

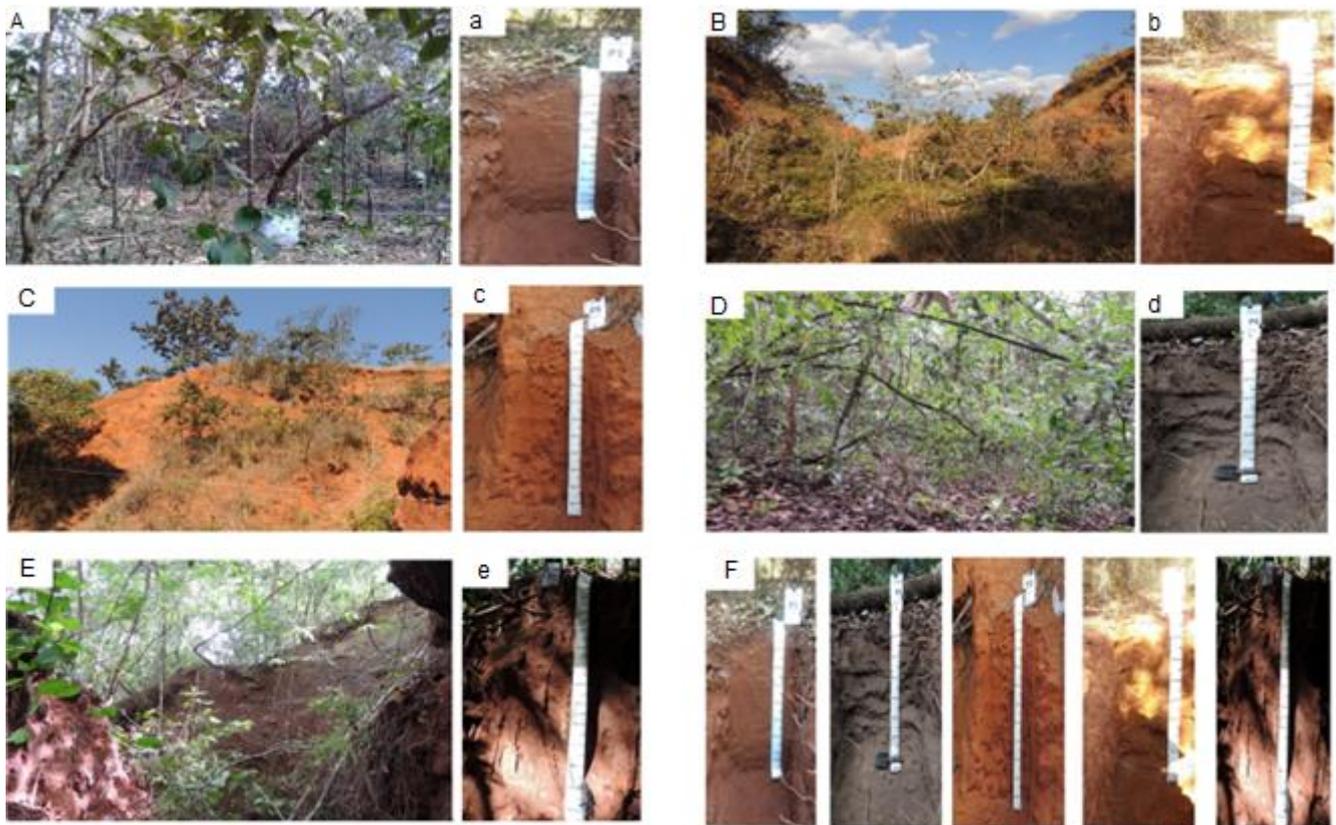


Figura 3. Perfis descritos na área de estudo, associados ao ambiente de coleta. A) Cerradão, a) Perfil 1 - Cerradão (P1); B) Área da voçoroca associado ao ambiente do Cerradão, b) Solo associado a voçoroca Cerradão (P2); C) voçoroca Cerradão / Vertente, c) Solo associado a vertente da voçoroca (P3); D) Ambiente de Mata, d) Perfil 4 - Mata (P4); E) voçoroca Mata, e) Solo associado a voçoroca mata (P5); F) Perfis coletados na área de estudo. Fonte: Autores (2018).

Em laboratório, as amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm de abertura de malha para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA), e posteriormente destinadas a análises físicas, químicas e de matéria orgânica do solo.

3.4 Análise de solo

As análises físicas, químicas e de matéria orgânica dos solos coletados foram realizadas de acordo com o preconizado no Manual de Métodos de Análise do Solo (TEIXEIRA et al., 2017).

A análise textural foi realizada pelo método da pipeta com utilização de agitação lenta de 50 rpm por 16 horas. O pH foi determinado em água e em solução de KCl 1 mol L⁻¹ em suspensão solo/solução na proporção 1:2,5.

Os cátions trocáveis foram extraídos por KCl 1 mol L⁻¹ e quantificados por espectrofotometria de absorção atômica (Ca²⁺ e Mg²⁺) e por titulometria com NaOH (Al³⁺). A acidez potencial (H⁺ + Al³⁺) foi extraída por acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0 e quantificada por titulometria com NaOH. O P disponível, K⁺ e micronutrientes trocáveis (Cu²⁺, Zn²⁺, Fe²⁺ e Mn²⁺) foram extraídos pela solução extratora de Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ e H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹), sendo P quantificado pelo método colorimétrico utilizando ácido ascórbico e determinação por espectrofotometria e os demais determinados por espectrometria de absorção atômica com chama.

O carbono orgânico foi determinado pelo método de *Walkley-Black* sem aquecimento, com uso de fator de 1,724 para determinação da matéria orgânica (MO).

3.5 Análises estatísticas

Para realização das análises exploratórias e Análise de Componentes Principais (ACP), obteve-se a priori o grau de similaridade dos atributos físicos e químicos do solo através do coeficiente de correlação de *Spearman*. As variáveis de menor influência (correlação inferior a 0,6 ou que possuem natureza dependente) foram descartadas para minimizar ruído estatístico. Portanto, restou os parâmetros: pH em água, densidade, soma de bases, matéria orgânica, saturação por bases, silte, fósforo remanescente, argila e teores de fósforo, alumínio, cobre, potássio, ferro, manganês e zinco, que foram utilizados para realização da Análise de Componentes Principais.

Posteriormente, as variáveis físicas e químicas foram submetidas a análises de variância (ANOVA) ou de *Kruskal-Wallis* para verificar a existência de diferença dos atributos pedológicos em cada ambiente. Foi realizado posteriormente o teste de *Tukey*, quando os dados atenderam às pressuposições de homogeneidade e normalidade, e teste de *Dunn's* quando as pressuposições não fossem atingidas. Em ambos os testes utilizou-se 5% de significância.

As análises foram realizadas no software R utilizando os pacotes *factorMiner*, *factorextra*, *Hmisc*, *ggplot2*, *multcompView*.

4. Resultados e Discussão

4.1 Evolução temporal do processo erosivo

As pesquisas relacionadas a erosão dos solos demandam constantemente o aperfeiçoamento de conhecimentos técnicos para abordagens mais robustas, em questões como: mapeamento de áreas de risco, estudos de vulnerabilidade ambiental, gênese e cronologia de processos erosivos e medidas de reabilitação de áreas degradadas (PEREIRA; RODRIGUES, 2022). Nesse contexto, a utilização de geotecnologias são importantes ferramentas para a análise espaço-temporal das voçorocas, uma vez que permitem acompanhar, em diversos casos, o seu início e evolução ao longo do tempo (MARCHIORO; ANDRADE; OLIVEIRA, 2016; LOUREIRO; GUERRA; ANDRADE, 2020).

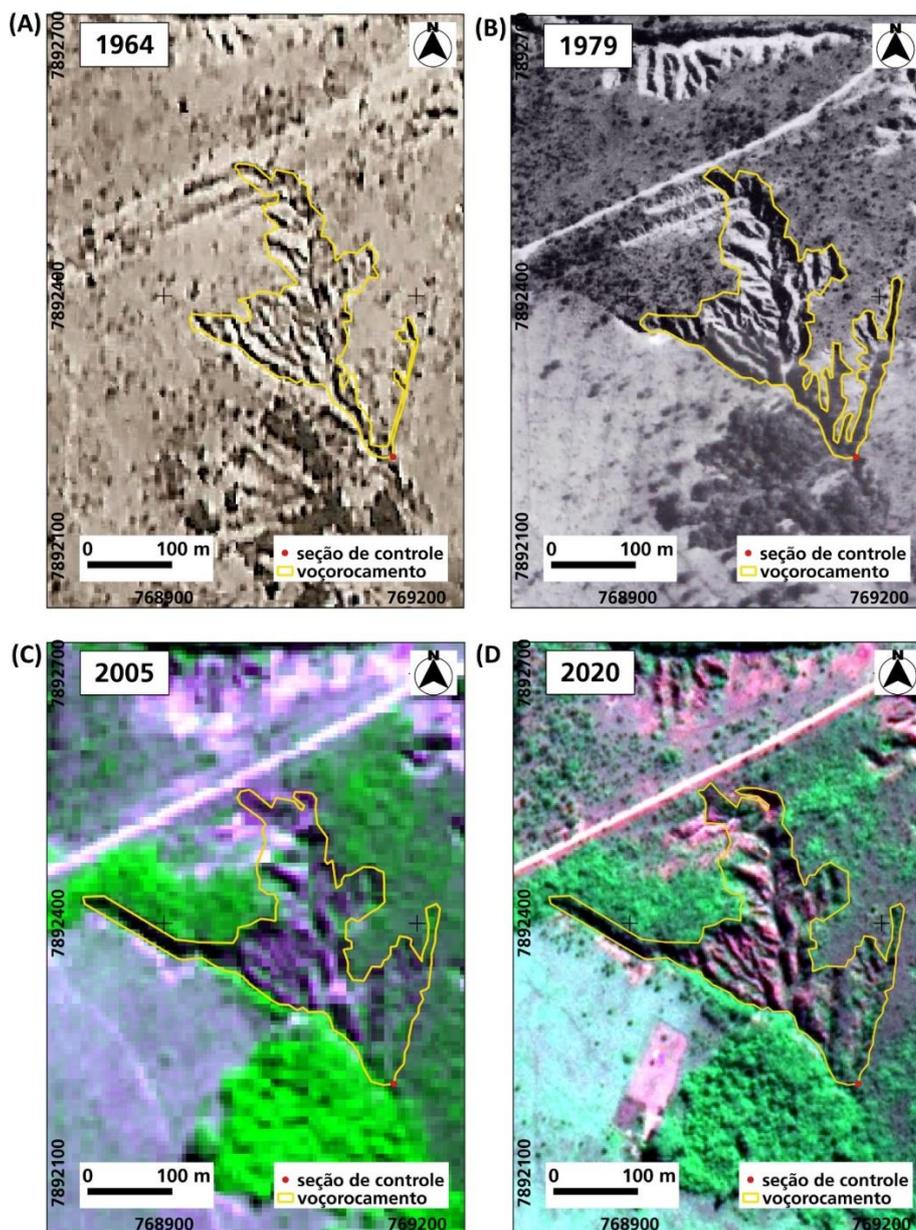
O processo de voçorocamento está presente na área de estudo desde, pelo menos, a década de 1960 (Figura 4 - A). Nesse período a paisagem está caracterizada pela cobertura vegetal reduzida, principalmente no ambiente Cerradão (NW da voçoroca), condição que favoreceu a intensificação do processo erosivo. Entre os anos de 1964 e 1979, a área experimentou um aumento de 27,0 %, partindo de 27.727 m² para 35.220 m², o que corresponde a uma taxa de 499,5 m²/ano. Assim, a erosão acelerada se deu por consequência dos maus cuidados dispensados ao solo pela destruição total dos habitats originais, que no período não estavam protegidos por uma cobertura vegetal suficiente.

Na década de 1970, observa-se uma maior progressão do processo erosivo justamente próximo as regiões expostas pela cobertura vegetal reduzida no entorno da voçoroca (Figura 4 - B). Essa situação é bem evidenciada pelo aumento de ramificações no SE da área e elevação do perímetro. No entanto, no ano de 1979, também é possível observar um sutil aumento da regeneração ambiental, notado em maior escala no ambiente Cerradão (NW da voçoroca) e porção leste da área, com presença de vegetação de Cerrado esparsa. Entre os anos de 1979-2005, a

expansão da voçoroca partiu de 35.220 m² para 43.596 m², representando uma evolução do processo erosivo de 23,8%. Entre esses anos, a taxa de ampliação média anual foi de 322,1 m²/ano.

Posteriormente, a partir dos anos 2000, constata-se que áreas do entorno da voçoroca não foram mais utilizadas intensamente para uso agropecuário e/ou extrativismo vegetal. Com isso, o processo de regeneração intensificou-se com avanço da Mata e Cerradão, resultando em maior densidade e área da vegetação natural, fato observado a partir do realce de imagem multiespectral de sensoriamento remoto, nos ambientes Cerradão e Mata, mas também em outras áreas (NE e SE) da voçoroca (Figura 4 - C).

No último período analisado (entre os anos de 2005-2020), a área experimentou um avanço de 3,3% (de 43.596 m² para 45.050 m²), indicando que processos erosivos permaneceram ativos, com ocorrência de movimentação de massa e solapamentos, principalmente após períodos chuvosos nas áreas mais expostas. No ano de 2020 também está evidenciado a colonização por vegetação (Figura 4 - D) em alguns pontos no interior da voçoroca, constituindo prática vegetativa para o controle da erosão.



SRG: SIRGAS 2000 22 S

Figura 4. Evolução temporal da situação da área de estudo. (A) USAF, 1964; (B) IBC/GERCA, 1979; (C) LANDSAT (2005); (D) CBERS 4A (2020).

Como constatado, houve a redução da taxa anual de voçorocamento desde a década de 1960. De 499,5 m²/ano, durante o primeiro período analisado (1964-1979) para 96,9 m²/ano no período de erosão mais lenta (2005-2020) (Figura 5). Situação semelhante foi relatada por Marchioro, Andrade e Oliveira (2016) que também descreveram uma redução na média anual da taxa de erosão em um intervalo temporal de quase quatro décadas em voçorocas de municípios capixabas, indicando que as feições estudadas se encontram em processo evolutivo lento com regeneração da vegetação dentro da feição erosiva devido a alterações do uso e cobertura da terra. Já um estudo de evolução erosiva por aerofotogrametria, durante 53 anos, no Quadrilátero Ferrífero (MG), constatou uma evolução de 318,9 m²/ano, marcada por períodos lentos e acelerados, com taxas de avanço decrescendo provavelmente em função da diminuição da área de contribuição à montante (DRUMOND; BACELLAR, 2006). Tais resultados corroboram a dinamicidade desses ambientes e importância da evolução temporal. Também é notado a redução do perímetro da voçoroca entre 1979 a 2020, mesmo com a expansão da área (Figura 5). Tal fato é devido a redução do número de taludes estáveis, que possibilitou alteração no formato e diminuição das bordas da incisão erosiva.

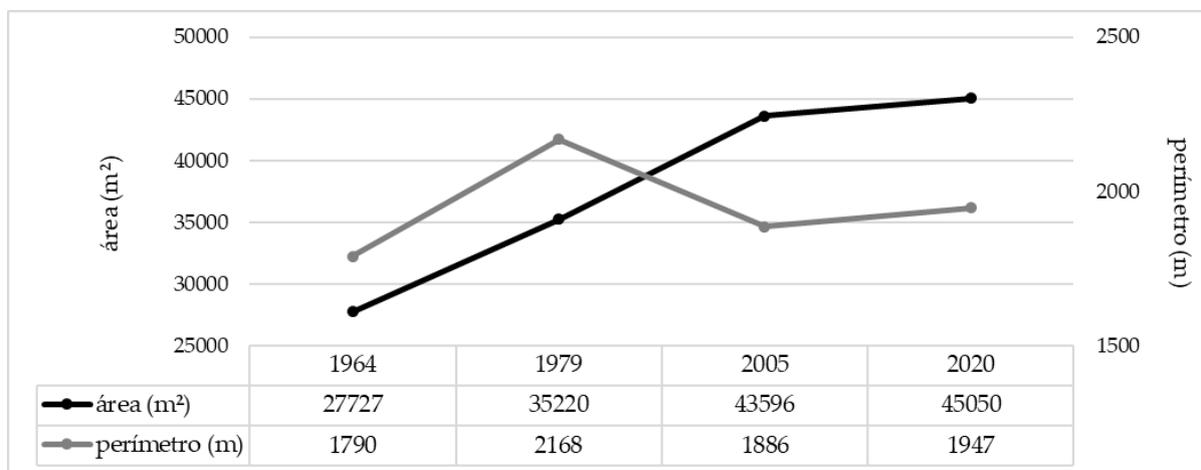


Figura 5. Métricas da evolução temporal do voçorocamento. Fonte: Autores (2022).

As características da densidade da cobertura vegetal de diferentes fitofisionomias interferem nos processos erosivos, com influências significativas no índice de escoamento superficial e perda de solo, principalmente em episódios de precipitação intensa de grande erosividade (COSTA; RODRIGUES, 2015). No entanto, para a melhor compreensão da relação estabelecida entre erosão e cobertura vegetal, outros parâmetros necessitam ser considerados, como as características do solo de cada ambiente.

4.2 Atributos físicos e químicos dos solos

A Análise dos Componentes Principais (ACP) abrangeu as variáveis físicas, químicas e matéria orgânica dos solos, na camada de 0-20 cm dos pontos amostrais (Figura 6). A ACP apresentou alto valor no eixo 1 (41,9%) e no eixo 2 (18,5%), totalizando 60,4% da covariância dos dados. No eixo 1, com a maior porcentagem, pode-se observar que os ambientes Cerradão e voçoroca (ambiente Mata e Cerradão), se correlacionam com os vetores de pH em H₂O e aspectos físicos com argila, silte e densidade, caracterizando ambiente de baixa fertilidade. Do lado oposto, encontra-se as principais bases associadas a amostragem de Mata, com vetores da matéria orgânica, soma de bases, macro e micronutrientes reforçando este ambiente como o de maior fertilidade natural entre as áreas amostradas.

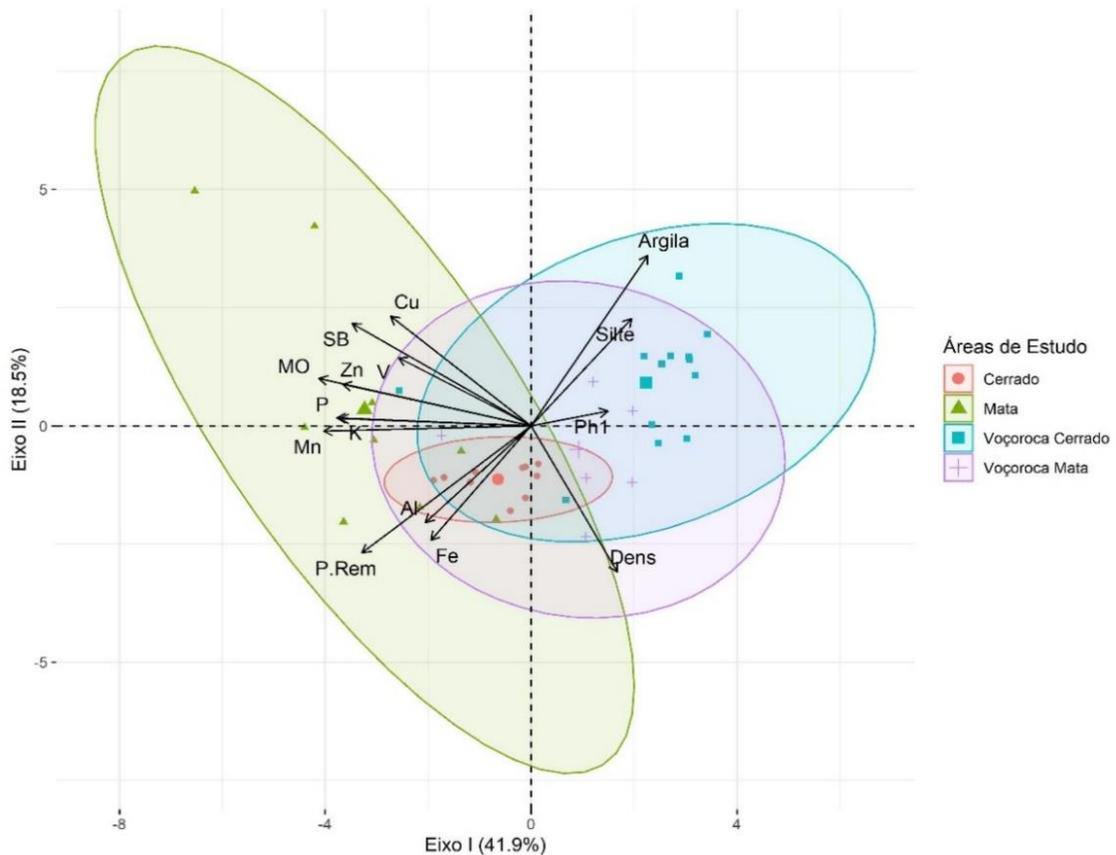


Figura 6. Análise dos Componentes Principais (ACP) dos atributos físicos e químicos dos solos superficiais dos diferentes ambientes da voçoroca e de seu entorno (0-20 cm). SB – Soma de bases trocáveis; V – Índice de saturação por Bases; MO – Matéria Orgânica; P-rem – Fósforo remanescente, Dens – Densidade do solo. Fonte: Autores (2022).

Quando analisamos as variáveis edáficas separadamente associadas a cada ambiente é possível identificar as diferenças estatística entre eles (Tabela 1). Nas frações granulométricas se destaca a areia, que no Cerradão e Mata caracterizam-se como ambientes semelhantes, sendo a diferença observada em relação aos ambientes Cerradão e Mata no interior voçoroca estudada (Tabela 1).

Nos teores químicos, a soma de bases (SB), promove separação entre os ambientes Cerradão e Mata, influenciado pelos teores de Mg^{2+} e Ca^{2+} (Tabela 1). O mesmo não se observa-se em relação a MO, que, apesar dos valores médios mais elevados na Mata, do que no Cerradão (2,55 e 1,78), não apresentou distinção estatística significativa (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos de solo (0-20 cm) nós diferentes ambientes coletados. Os valores apresentados são a média seguido pelo desvio padrão sendo N = 10 no Cerradão; N = 9 na Mata; N = 9 voçoroca Mata; N = 11 voçoroca Cerradão. As diferentes letras na mesma linha demonstram a presença de diferença significativa do atributo nos ambientes, determinado pelos testes de *Tukey* ou *Kruskal-Wallis*(*). SB – Soma de bases trocáveis; t – Capacidade de Troca Catiônica efetiva; T – Capacidade de Troca Catiônica a pH 7; V – Índice de saturação por Bases; m - Índice de saturação por alumínio; MO – Matéria Orgânica; P-rem – Fósforo remanescente, Den – Densidade do solo.

Atributos		Cerradão	Mata	Voçoroca Mata	Voçoroca Cerradão
Den	g cm ⁻³	1,39 ± 0,0 ab	1,30 ± 0,11 a	1,43 ± 0,11 ab	1,35 ± 0,10 b
Areia	g kg ⁻¹	783 ± 20,0 a	801 ± 67,72 a	760 ± 36,0 b	716 ± 51,8 ab
*Silte	g kg ⁻¹	61 ± 9,94 a	36 ± 18,03 a	45 ± 19,8 ab	71 ± 25,5 ab
Argila	g kg ⁻¹	157 ± 16,3 a	160 ± 49,75 a	197 ± 24,2 b	215 ± 32,51 ab
pH	H ₂ O	4,82 ± 0,31 a	4,28 ± 0,35 b	4,33 ± 0,42 ab	4,7 ± 0,46 ab
*pH	KCl	4,01 ± 0,10 a	4,04 ± 0,21 a	4,07 ± 0,09 b	4,68 ± 0,41 a
*P	mg dm ⁻³	2,64 ± 0,59 a	5,11 ± 1,21 b	2,07 ± 0,27 c	2,54 ± 3,012 ac
K	mg dm ⁻³	35,2 ± 9,43 a	37,8 ± 10,47 a	25,1 ± 15,5 b	16,57 ± 13,7 ab
*Ca ²⁺	cmol _c dm ⁻³	0,11 ± 0,09 a	1,10 ± 1,12 b	0,22 ± 0,15 ab	0,17 ± 0,24 ab
*Mg ²⁺	cmol _c dm ⁻³	0,08 ± 0,03 a	0,41 ± 0,44 b	0,10 ± 0,08 ab	0,8 ± 0,08 a
*Al ³⁺	cmol _c dm ⁻³	0,58 ± 0,11 a	0,67 ± 0,42 a	0,62 ± 0,22 b	0,17 ± 0,26 ab
*H+Al	cmol _c dm ⁻³	3,74 ± 0,73 a	4,7 ± 1,84 a	1,93 ± 0,49 b	1,41 ± 0,85 b
*SB	cmol _c dm ⁻³	0,28 ± 0,14 a	1,61 ± 1,57 b	0,38 ± 0,27 ab	0,29 ± 0,35 ab
*t	cmol _c dm ⁻³	0,86 ± 0,21 a	2,27 ± 1,35 b	1,00 ± 0,33 ab	0,47 ± 0,49 ab
*T	cmol _c dm ⁻³	4,02 ± 0,86 ab	6,31 ± 2,70 a	2,31 ± 0,72 c	1,7 ± 1,12 bc
*V	%	6,71 ± 2,09 a	23,62 ± 17,4 b	15,5 ± 6,30 ab	14,31 ± 11,75 b
*m	%	68,6 ± 9,03 a	38,91 ± 25,4 ab	63,7 ± 15,15 b	25,37 ± 37,60 ab
*MO	dag kg ⁻¹	1,78 ± 0,60 a	2,55 ± 1,08 a	0,75 ± 0,52 b	0,65 ± 0,46 b
P-Rem	mg dm ⁻³	34,6 ± 1,37 a	37,4 ± 9,94 a	29,9 ± 5,14 b	20,88 ± 9,06 ab
*Cu	mg dm ⁻³	0,95 ± 0,09 a	2,58 ± 2,40 a	0,64 ± 0,14 b	0,72 ± 0,58 b
*Fe	mg dm ⁻³	53,2 ± 9,65 a	29,81 ± 19,7 ab	13,2 ± 4,35 c	43,58 ± 117 bc
*Mn	mg dm ⁻³	10,5 ± 4,36 ab	14,11 ± 6,37 a	4,99 ± 2,97 c	5,31 ± 6,13 bc
*Zn	mg dm ⁻³	2,4 ± 0,77 a	3,02 ± 1,94 a	1,4 ± 0,97 b	0,87 ± 0,63 b

Fonte: Autores (2022).

Os teores de K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺, não apresentaram diferença entre os ambientes de voçoroca Cerradão e voçoroca Mata (Tabela 1), sendo assim, estas características edáficas para fins de colonização de vegetação não demonstram significância entre esses ambientes. Ambos são distróficos e a erosão remontante, impossibilita o acúmulo de MO e o desenvolvimento significativo da pedogênese.

4.3 Classificação dos solos

Os resultados analíticos de atributos físicos, químicos e de matéria orgânica dos perfis de solos estão organizados nas Tabelas 2 e 3.

No ambiente Cerradão, o perfil 1 (P1) foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico argissólico. P1 apresenta predominância de areia fina em todos os horizontes, com classificação textural de franco-arenosa nos horizontes superficiais (A e BA) e Franco-Argilo-Arenosa nos horizontes subsuperficiais (Bw1 e Bw2) (Tabela 2).

Na descrição morfológica os horizontes Bw1 e Bw2 apresentaram estrutura moderada e fraca em blocos subangulares. É um solo acentuadamente drenado, ácido, distrófico, com mudança textural suficiente para caracterizar caráter argilúvico ($B/A=1,4$). Apresenta relação silte/argila igual a 0,41 na porção superficial e 0,28 na porção subsuperficial bem como baixa CTC a pH 7, inferior a 7 cmolc dm^3 , e saturação por Al^{3+} elevada (Tabelas 2 e 3).

O perfil 4 (P4) associado ao ambiente de Mata foi classificado como Cambissolo Háplico Ta Distrófico típico. A granulometria se destaca-se pela fração areia (71 a 75%), com predomínio de areia grossa e, classificação textural de Franco-Argilo-Arenosa em todos os horizontes (Tabela 2). É um solo excessivamente drenado, ácido, distrófico, e mudança textural baixa ($B/A=1,04$). Apresenta horizonte B incipiente com argila de atividade alta (29 cmolc kg^{-1}), relação silte/argila igual a 0,22 na porção superficial e 0,26 na porção subsuperficial, e saturação por Al^{3+} elevada (Tabela 2 e 3).

Para os demais perfis P2, P3 e P5 não é possível classificar pelo sistema taxonômico brasileiro (SiBCS) por se tratar de solos severamente erodidos e localizados na área interna da voçoroca (fundo e vertentes, respectivamente) em que há ausência dos horizontes diagnósticos e baixa pedogênese. A erosão exumou os horizontes C (saprólito do arenito Marília), cujos mais estáveis e antigos apresentam pedogênese suficiente para se aproximarem da classe dos Neossolos Regolíticos. Nestes perfis predominam a fração areia na composição granulométrica, variando de 75 a 78%, 68 a 70% e 77 a 88%, respectivamente, com maior participação de areia fina.

A distribuição da relação AG/AF nos perfis P1, P2, P3 e P4 não apresentou significativa alteração de seus índices (Tabela 2), indicando semelhança no material de origem, não havendo descontinuidade litológica. Todos os perfis possuem classificação textural semelhantes, com amplo predomínio da fração areia na composição granulométrica das camadas e horizontes.

O perfil P5 - voçoroca Mata tem variações de 1,59 a 0,48 (Tabela 2) na relação AG/AF o que pode indicar descontinuidades de materiais de origem, visto a variação da camada mais superficial em contraste aos demais. Nas camadas mais superficiais (C1 e C2) apresentam grupamento textura Areia-Franca. Ainda no perfil 5, as camadas C2 e C6 foram as que mais destoaram das demais áreas com relação silte/argila de 0,69 e 0,76 respectivamente em comparação com as médias 0,32, 0,33, 0,36 e 0,21 dos perfis P1, P2, P3 e P4 respectivamente. Tais resultados corroboram que os horizontes de perfis truncados pela erosão possuem características texturais relacionadas com arenitos da Formação Marília, em que há arenito pouco consolidado com baixos teores de silte (SILVA; NISHIYAMA, 2016).

Tanto nas áreas da voçoroca quanto nas áreas de Mata e Cerradão prevaleceu a classe textura média. Assim, o grupamento textural do solo não foi alterado em razão da remoção da camada superficial do solo, horizontes A e B, pelo processo erosivo.

Os resultados das análises químicas (Tabela 3) revelam ainda que todos os ambientes apresentaram valores baixos de pH, tanto em água como em KCl, com variações do pH em H_2O de 4,20 a 5,5, e pH em KCL de 3,92 a 5,58. O delta pH foi negativo em todos os perfis com exceção em P3, onde observou-se valores positivos, demonstrando o predomínio de cargas positivas no perfil.

Tabela 2. Atributos físicos dos perfis de solo.

Horizonte	Prof. cm	Areia	Areia	Silte	Argila	Relação	Relação	Classe Textural
		Grossa	Fina			AG/AF*	Silte/Arg	
g kg ⁻¹								
P1- Cerradão - Latossolo Vermelho Distrófico argissólico								
A	0-14	310	500	60	130	310	500	Franco-Arenosa
BA	14-29	300	530	40	140	300	530	Franco-Arenosa
Bw1	29-66	280	450	60	200	280	450	Franco-Argilo-Arenosa
Bw2	66-90+	250	480	60	220	250	480	Franco-Argilo-Arenosa
P2 - Voçoroca Cerradão Fundo (Solo/Saprolito do Marília)								
C1	0-20	260	520	60	170	260	520	Franco-Arenosa
C2	20-40	300	460	60	180	300	460	Franco-Arenosa
C3	40-60	260	490	60	190	260	490	Franco-Arenosa
C4	60-80	340	430	60	180	340	430	Franco-Arenosa
C5	80-100+	310	460	50	180	310	460	Franco-Arenosa
P3 - Voçoroca Cerradão Vertente (Solo/Saprolito do Marília)								
C1	0-20	190	510	0	230	0,37	0,29	Franco-Argilo-Arenosa
C2	20-40	200	500	90	220	0,40	0,39	Franco-Argilo-Arenosa
C3	40-60	190	490	90	230	0,39	0,38	Franco-Argilo-Arenosa
C4	60-80	210	480	70	240	0,44	0,29	Franco-Argilo-Arenosa
C5	80-100+	210	480	100	220	0,43	0,46	Franco-Argilo-Arenosa
P4 - Mata - Cambissolo Háplico Ta distrófico típico								
A	0-29	420	320	50	220	1,34	0,22	Franco-Argilo-Arenosa
Bi	29-53	420	300	60	230	1,41	0,26	Franco-Argilo-Arenosa
CB	53-70	430	320	40	210	1,33	0,19	Franco-Argilo-Arenosa
C	70-80+	390	320	50	250	1,23	0,18	Franco-Argilo-Arenosa
P5 - Voçoroca Mata (Solo/Saprolito do Marília)								
C1	0-20	530	340	20	100	1,59	0,22	Areia-Franca
C2	20-40	310	500	80	110	0,62	0,69	Areia-Franca
C3	40-60	280	500	40	170	0,57	0,25	Franco-Arenosa
C4	60-80	290	500	60	150	0,59	0,36	Franco-Arenosa
C5	80-100	250	530	60	170	0,48	0,35	Franco-Arenosa
C6	100-120+	270	510	100	130	0,53	0,76	Franco-Arenosa

Fonte: Autores (2022).

Tabela 3. Atributos químicos e MO dos perfis de solo. Fonte: Autores (2022).

Hor.	Prof. cm	pH		P mg dm ³	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+AL	SB	t	T	V	m %	ISNa	MO dag kg
		H ₂ O	KCl														
P1- Cerradão - Latossolo Vermelho de textura média																	
A	0-14	5,5	4,16	4,00	64,0	0,00	0,54	0,16	0,39	5,40	0,90	1,25	6,26	14,00	31,00	0,00	2,76
BA	14-29	5	4,09	2,00	26,0	0,00	0,05	0,04	0,58	3,20	0,20	0,74	3,36	4,80	78,00	0,00	0,88
Bw1	29-66	4,9	4,15	1,00	12,0	0,00	0,04	0,03	0,58	3,80	0,10	0,68	3,90	2,60	85,00	0,00	0,88
Bw2	66-90+	4,9	4,19	1,00	4,00	0,00	0,02	0,02	0,39	3,00	0,10	0,44	3,05	1,60	89,00	0,00	0,63
P2 - Voçoroca Cerradão / Fundo (Solo/Saprolito do Marilha)																	
C1	0-20	5	4,89	1,00	16,0	0,00	0,06	0,03	0,00	1,10	0,20	0,17	1,27	13,00	0,00	0,00	0,38
C2	20-40	5,2	4,85	1,00	6,00	0,00	0,09	0,04	0,00	1,10	0,20	0,15	1,25	12,00	0,00	0,00	0,25
C3	40-60	5,3	5,05	1,00	4,00	0,00	0,04	0,03	0,00	1,00	0,10	0,08	1,08	7,40	0,00	0,00	0,25
C4	60-80	5,2	4,84	1,00	2,00	0,00	0,05	0,03	0,00	0,80	0,10	0,09	0,89	10,00	0,00	0,00	0,13
C5	80-100+	5,2	4,9	1,00	12,0	0,00	0,08	0,04	0,00	0,80	0,20	0,21	1,01	21,00	0,00	0,00	0,25
P3 - Voçoroca Cerradão / Vertente (Solo/Saprolito do Marilha)																	
C1	0-20	4,6	5,27	1,00	0,00	0,00	0,06	0,03	0,00	1,00	0,10	0,09	1,09	8,30	0,00	0,00	0,25
C2	20-40	4,3	5,33	1,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,80	0,00	0,03	0,83	3,60	0,00	0,00	0,13
C3	40-60	4,4	5,58	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,50	0,10	0,06	0,56	11,00	0,00	0,00	0,00	0,25
C4	60-80	4,4	5,51	1,00	0,00	0,00	0,05	0,03	0,00	0,60	0,10	0,08	0,68	12,00	0,00	0,00	0,13
C5	80-100+	4,4	5,02	1,00	2,00	0,00	0,03	0,03	0,00	0,80	0,10	0,07	0,87	8,00	0,00	0,00	0,13
P4 – Mata - Cambissolo Háptico Ta distrófico típico																	
A	0-29	4,2	3,97	9,00	40,0	0,00	0,51	0,23	1,36	7,80	0,80	2,20	8,64	9,70	62,00	0,00	3,14
Bi	29-53	4,2	3,92	6,00	14,0	0,00	0,00	0,03	1,45	6,70	0,10	1,52	6,77	1,00	95,00	0,00	2,20
CB	53-70	4,3	3,99	4,00	6,00	0,00	0,05	0,04	1,16	4,20	0,10	1,27	4,31	2,60	91,00	0,00	1,00
C	70-80+	4,3	4	4,00	10,0	0,00	0,00	0,03	1,06	4,00	0,10	1,12	4,06	1,50	95,00	0,00	0,88
P5 - Voçoroca Mata (Solo/Saprolito do Marilha)																	
C1	0-20	4,9	4,7	4,00	38,0	0,00	0,74	0,25	0,00	1,00	1,10	1,09	2,09	52,00	0,00	0,00	0,50
C2	20-40	5,3	4,4	4,00	46,0	0,00	2,12	1,04	0,10	0,60	3,30	3,38	3,88	85,00	3,00	0,00	0,25
C3	40-60	5,3	4,4	5,00	46,0	0,00	2,58	1,13	0,19	0,80	3,80	4,02	4,63	83,00	4,70	0,00	0,13
C4	60-80	5	4,1	4,00	32,0	0,00	2,32	1,03	0,29	0,80	3,40	3,73	4,24	81,00	7,80	0,00	0,13
C5	80-100	5,1	4,1	3,00	28,0	0,00	2,86	1,28	0,29	1,10	4,20	4,50	5,31	79,00	6,40	0,00	0,25
C6	100-120+	5,2	4,5	6,00	34,0	0,00	3,50	1,59	0,19	0,60	5,20	5,37	5,78	90,00	3,50	0,00	0,13

Segundo o SiBCS (SANTOS et al., 2018), os perfis da voçoroca (P2, P3 e P5) apresentaram-se extremamente e fortemente ácidos. O Cerradão (P1) é moderadamente ácido no horizonte superficial. Já para a Mata, o potencial hidrogeniônico varia de extremamente à fortemente ácido. A distribuição da acidez ao longo dos perfis não seguiu nenhum padrão, sendo que os valores foram decrescentes para o P1 e aleatórios nos demais. Valores semelhantes foram encontrados em trabalhos sobre solos do Cerrado no Triângulo Mineiro (BRANDÃO; LIMA, 2002; CAMARGO et al., 2007, RODRIGUES et al., 2010; RIBEIRO et al., 2019). A acidez elevada provém do material lixiviado de origem pobre (arenito), com teores baixos de cátions básicos como Ca^{2+} e Mg^{2+} . No ambiente Mata, os valores de pH se tornam ainda mais elevados diante os teores de matéria orgânica em relação aos demais ambientes.

Os ambientes dos fragmentos nativos de Cerradão e Mata (P1 e P4) diferenciaram da área da voçoroca (P2, P3 e P5) por apresentarem maiores valores de matéria orgânica, saturação por alumínio (m), alumínio trocável (Al^{3+}) e acidez potencial (H+Al). O alumínio é tóxico para maioria das plantas. E essa toxicidade reduz quando o pH do solo está acima de 5,2 devido a sua menor atividade em solução. Porém, quando o pH cai de 5 para 4, há um aumento exponencial na concentração de Al^{3+} na solução do solo (BRADY; WEIL, 2013). Para a área de estudo, os resultados foram quase todos abaixo de 5,2, sendo os valores de pH para a Mata e a vertente da voçoroca Cerradão próximos a 4 (Tabela 3).

Para a MO, os valores mais elevados nos horizontes A dos solos do Cerradão e Mata foram devido a presença de biomassa vegetal nos ambientes em condições naturais. De acordo com as classes de fertilidade do solo, os horizontes superficiais dos perfis dos fragmentos nativos (P1 e P4) se enquadram em fertilidade média quanto ao teor de MO ($2,1 \leq x \leq 4,0 \text{ dag kg}^{-1}$) e média no horizonte subsuperficial (RIBEIRO et al., 1999). Nos demais horizontes a classificação foi baixa ($0,71 \leq x \leq 2,0 \text{ dag kg}^{-1}$). Já para as voçorocas (P2, P3 e P5), todos os valores encontrados são classificados como muito baixo ($\leq 0,70 \text{ dag Kg}^{-1}$) e não diferiram significativamente entre si (Tabela 3). Tal situação retrata que o processo erosivo ainda está ativo, não tendo tempo suficiente para formação do horizonte A e, conseqüentemente, acúmulo de MO mesmo havendo esparsa cobertura vegetal.

Os atributos como saturação de alumínio, Al^{3+} e H+Al possuem relação direta com os teores de matéria orgânica, visto que a fração orgânica do solo complexa cátions, como Al. Portanto, os valores também foram mais expressivos nos ambientes mais vegetados e estáveis (Tabela 3).

Além da diferença dos atributos do solo dos fragmentos nativos em comparação a voçoroca, cabe destacar o P5 no ambiente da voçoroca Mata com valores superiores de soma de bases (SB) e saturação por bases (V%) e capacidade de troca catiônica (CTC) (esse atributo apenas em relação aos perfis da voçoroca). É o único solo eutrófico da área de estudo e seus resultados estão associados à sua localização (área localizada na vertente, com vegetação mais estabelecida em relação às demais áreas da voçoroca).

Sob o aspecto dos parâmetros cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}) e alumínio trocável (Al^{2+}), as fertilidades naturais dos solos foram baixas e muito baixas na maioria dos horizontes e perfis ($< 1,20 \text{ cmolc dm}^{-3}$, $0,45 \text{ cmolc dm}^{-3}$ e $0,50 \text{ cmolc dm}^{-3}$, respectivamente). A diferenciação ocorre no P5 em que os resultados dos horizontes inferiores ao C2 (de 1,03 a 1,59 cmolc dm^{-3} para Mg^{2+} e de 2,12 a 3,50 cmolc dm^{-3} para Ca^{2+}) remete à uma classificação entre bom e muito bom e entre médio e bom, respectivamente (RIBEIRO et al., 1999). Tais características deste solo, em especial os valores mais elevados de Ca^{2+} e Mg^{2+} , são atribuídas à ocorrência de lentes de cimento carbonático que podem ocorrer de forma não continua nos arenitos da Formação Marília (BARBOSA et al., 1970), influenciando áreas específicas da paisagem.

5. Conclusões

As estimativas de evolução do processo erosivo na área de estudo, ao longo de seis décadas, indicam uma taxa anual de progressão média de $\sim 300 \text{ m}^2/\text{ano}$, sendo que no período avaliado a voçoroca experimentou um avanço de aproximadamente 60% em relação a área inicial. No entanto, nos últimos anos constata-se uma notável redução do porcentual anual do ritmo de expansão ($\sim 100 \text{ m}^2/\text{ano}$), provavelmente por práticas de conservação dos solos que foram difundidas a partir da maior ciência dos impactos da degradação e erosão acelerada das terras.

A Análise de Componentes Principais indica que os ambientes Cerradão e voçoroca (Mata e Cerradão) são ambientes de baixa fertilidade natural, enquanto o ambiente Mata é associado a maiores teores de matéria orgânica, soma de bases e macro e micronutrientes. Testes estatísticos indicam ainda variação entre frações granulométricas nos ambientes naturais e degradados, a maior presença de soma de bases no ambiente Mata, devido a maiores

teores de Mg^{2+} e Ca^{2+} e a igualdade estatística de matéria orgânica no Cerradão e Mata em detrimento dos ambientes da voçoroca.

Com relação aos perfis de solo, reforça-se a condição de pobreza natural de nutrientes e da sua acidez, típicas de Cerrado, e constata-se que a matéria orgânica é um atributo diferenciador entre os fragmentos nativos e áreas degradadas e que sua incorporação deve ser privilegiada em projetos de restauração ambiental. Também, os resultados podem ser usados para entender a dinâmica de paisagens de alta degradação e servir de referencial para encontrar estratégias para estimular a resiliência dos solos de extensas áreas degradadas, a partir do manejo de seus atributos, visando a colonização pela vegetação.

Contribuições dos Autores: Concepção, G.R.C.; metodologia, G.R.C; campo, G.R.C., M.L.F.C.C., G.P.R e G.M.P.B, software, G.P.R e D.C.N; validação, F.M.F.S e V.A.K.; análise formal, M.L.F.C.C. e G.P.R.; pesquisa, M.L.F.C.C.; recursos, G.R.C; preparação de dados, G.M.P.B.; escrita do artigo, M.L.F.C.C e D.C.N.; revisão, F.M.F.S, V.A.K. e G.R.C.; supervisão, G.R.C.; aquisição de financiamento, G.R.C. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

Financiamento: O presente trabalho foi realizado com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

Conflito de Interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.

Referências

1. ARAÚJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. 4ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. 320 p.
2. BACCARO, C. A. D. Unidades Geomorfológicas do Triângulo Mineiro. **Sociedade & Natureza.**, v. 3, n. 5, p. 37-42, 1991.
3. BARBOSA, O.; BRAUN, O. P. G.; DYER, R. C.; CUNHA, C. A. B. R. **Geologia da Região do Triângulo Mineiro**. Rio de Janeiro: DNPM, 1970, 140 p. Boletim Técnico n. 136.
4. BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 10ª Ed. São Paulo: Ícone Editora, 2017. 392 p.
5. BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3ª Ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 716 p.
6. BRANDÃO, S. L.; LIMA, S. C. pH e condutividade elétrica em solução do solo, em áreas de pinus e Cerrado na chapada, em Uberlândia (MG). **Caminhos de Geografia**, v. 3, n. 6, p. 46-56, 2002.
7. CAMARGO, M. S.; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S. Solubilidade do silício em solos: influência do calcário e ácido silícico aplicados. **Bragantia**, v. 66, n. 4, p. 637-647, 2007. DOI: 10.1590/S0006-87052007000400014
8. CANDIDO, H. G.; GALBIATTI, J. A.; PISSARRA, T. C. T.; MARTINS FILHO, M. V. Degradação ambiental da bacia hidrográfica do rio Uberaba: uma abordagem metodológica. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 1, p. 179–192, jan. 2010. DOI: 10.1590/S0100-69162010000100019
9. CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n.1, p. 147-157, 2009. DOI: 10.1590/S0100-06832009000100016
10. CBERS 4A. **Imagem de satélite 206/137**. Uberlândia: DGI INPE, 2020. Disponível em: <<http://www2.dgi.inpe.br/catalogo/explore>>.
11. COSTA, Y. T.; RODRIGUES, S. C. Relação entre cobertura vegetal e erosão em parcelas representativas de Cerrado. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 9, n. 2, p. 61-75, 2015. DOI: 10.18227/1678-7226rga.v9i2.3160
12. CUNHA, T. J. F.; MENDES, A. M. S.; GIONGO, V. Matéria orgânica do solo. In: NUNES, R. R.; REZENDE, M. O. O. (Org.). **Recurso solo: propriedades e usos**. 1ª Ed. São Carlos: Cubo, 2015. p. 273-293.
13. DRUMOND, F. N.; BACELLAR, L. A. P. Caracterização hidrossedimentológica e dos processos evolutivos de voçorocamento em área de rochas gnaissicas do alto Rio das Velhas (MG). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 7, n. 2, p. 87-96, 2006. DOI: 10.20502/rbg.v7i2.81
14. GOMES, I. A.; PALMIERI, F.; BARUQUI, A. M.; MOTTA, P. E. F.; NAIME, U. J. **Levantamento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do Triângulo Mineiro**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1982. 526 p.

15. INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ. **Fotografia aérea pancromática**. Uberlândia: IBC/GERCA, 1979. Escala 1:25000.
16. LANDSAT 5 TM. **Imagem de satélite 221/73**. Uberlândia: DGI/INPE, 2005. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>
17. LOUREIRO, H. A. S.; GUERRA, A. J. T.; ANDRADE, A. G. Contribuição ao estudo de voçorocas a partir do uso experimental de laser scanner terrestre e VANT. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 4, p. 871-892, 2020. DOI: 10.20502/rbg.v21i4.1880
18. MACHADO, L. R. **Perda de solo e nutrientes em voçorocas com diferentes níveis de controle e recuperação no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007. 86 p.
19. MARCHIORO, E.; ANDRADE, E. E.; OLIVEIRA, J. C. Evolução espaço-temporal de voçorocas no Espírito Santo: estudo de caso nos municípios de Afonso Cláudio e Alegre. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 17, n. 1, p. 191-204, 2016. DOI: 10.20502/rbg.v17i1.712
20. NASCIMENTO, D. C.; BERBERT, C. P.; RIBEIRO, B. T. Electrochemical attributes of water from Cerrado wetlands (Veredas), Triângulo Mineiro region, Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, n. 1, p. 11-21, 2018. DOI: 10.5935/1806-6690.20180002
21. PEREIRA, J. S.; RODRIGUES, S. C. Estudos sobre Voçorocas: uma avaliação da produção científica brasileira (2009/2019). **Sociedade & Natureza**, v. 34, n. 1, p. 1-14, 2022. DOI: 10.14393/SN-v34-2022-65923
22. PETRUCCI, E. **Características do clima de Uberlândia-MG: análise da temperatura, precipitação e umidade relativa**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2018. 245 p.
23. QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System** (versão 3.10). 2019. Disponível em: <<http://qgis.osgeo.org>>.
24. R CORE TEAM. **The R Project for Statistical Computing** (versão 4.2.0). 2022. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>.
25. RESENDE, M.; CURTI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F.; KER, J. C. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 6ª ed. Lavras: Editora UFLA, 2018. 378 p.
26. RIBEIRO, B. T.; FERREIRA JUNIOR, D. F.; SILVA, C. R. 10-day probable rainfall for Uberlândia, Minas Gerais State, Brazil. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 3, p. 536-542, 2013.
27. RIBEIRO, B. T.; NASCIMENTO, D. C.; CURTI, N.; GUILHERME, L. R. G.; COSTA, E. T.; LOPES, G.; CARNEIRO. Assessment of Trace Element Contents in Soils and Water from Cerrado Wetlands, Triângulo Mineiro Region. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43, p. 1-17, 2019. DOI: 10.1590/18069657rbcs20180059
28. RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ VENEGAS, V. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ª ed. Viçosa: CFSMG - Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.
29. RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. Recomposição de florestas nativas: princípios gerais e subsídios para uma definição metodológica. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, v. 2, n. 1, p. 4-15. 1996.
30. RODRIGUES, V. H. P.; LOPES, S. F.; ARAÚJO, G. M.; SCHIAVINI, I. Composição, estrutura e aspectos ecológicos da floresta ciliar do rio Araguari no Triângulo Mineiro. **Hoehnea**, v. 37, n. 1, p. 87-105, 2010. DOI: 10.1590/S2236-89062010000100006
31. SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5ª Ed. Brasília: EMBRAPA, 2018, 356 p.
32. SANTOS, R. D. S.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C.; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7ª Ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 101 p.
33. SCHAEFER, C. E. G. R.; LIMA NETO, E.; CORRÊA, G. R.; SIMAS, F. N. B.; CAMPOS, J. F.; MENDONÇA, B. A. F.; NUNES, J. A. Geoambientes, solos e estoques de carbono na Serra Sul de Carajás, Pará, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, v. 11, n. 1, p. 85-101, 2017. DOI: 10.46357/bcnaturais.v11i1.462

34. SCOLFORO, J. R.; MELLO, J. M. de; OLIVEIRA, A. D. (ed.). **Inventário florestal de Minas Gerais: Cerrado - florística, estrutura, diversidade, similaridade, distribuição diamétrica e de altura, volumetria, tendências de crescimento e áreas aptas para manejo florestal**. 1ª Ed. Lavras: Editora UFLA, 2008. 816 p.
35. SILVA, G. A.; NISHIYAMA, L. Mapeamento dos processos erosivos na bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço em Ituiutaba, Minas Gerais. In: XI Simpósio Nacional de Geomorfologia – Geomorfologia: Compartimentação de Paisagem, Processo e Dinâmica, 11, 2016, Maringá. **Anais do XI Simpósio Nacional de Geomorfologia**. Maringá: SINAGEO. 2016.
36. TAVARES, S. R. L.; MELO, A. S.; ANDRADE, A. G.; ROSSI, C. Q.; CAPECHE, C. L.; BALIEIRO, F. C.; DONAGEMMA, G. K.; CHAER, G. M.; POLIDORO, J. C.; MACEDO, J. R.; PRADO, R. B.; FERRAZ, R. P. D.; PIMENTA, T. S. **Curso de recuperação de áreas degradadas: a visão da Ciência do Solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação**. 1ª Ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008. 228 p.
37. TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3ª Ed. Brasília: Embrapa, 2017. 573p.
38. TRICART, J.; KIEWIETDEJONGE, C. **Ecogeography and Rural Management**. Harlow: Longman Group, 1992. 267p.
39. UNITED STATES AIR FORCE. **Fotografia aérea pancromática**. Uberlândia: USAF, 1964. Escala: 1:60000.
40. WALTER, B. M. T. **Fitofisionomias do bioma Cerrado: síntese terminológica e relações florísticas**. Tese (Doutorado em Ecologia) - Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2006. 389 p.



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