



**ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS E FÍSICOS
DOS SOLOS DAS TRILHAS TURÍSTICAS
DA APA DAS NASCENTES DO RIO
VERMELHO, GOIÁS**

Renata Santos Momoli  

Professora no Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade
Federal de Goiás
Contato: rsmomoli@ufg.br

Thaynnara Borges Oliveira  

Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Goiás
Contato: thaynnaraborges@gmail.com

Ludimilla Oliveira Santos  

Graduada em Geografia pela Universidade Federal de Goiás
Contato: ludimilla47@gmail.com

Vladia Correchel  

Professora na Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás
Contato: vladiaea@ufg.br

Karla Maria Silva de Faria  

Professora no Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade
Federal de Goiás
Contato: karla_faria@ufg.br

Como citar: MOMOLI, R. S.; OLIVEIRA, T. B.;
SANTOS, L. O.; CORRECHEL, V.; FARIA, K. M. S.
Atributos morfológicos e físicos dos solos das trilhas
turísticas da APA das nascentes do Rio Vermelho,
Goiás. *Revista Formação (Online)*, v. 29, n. 54, p.
167-197, 2022.

Resumo

A prática do ecoturismo não é isenta de causar impactos ambientais, o que demanda avaliação e monitoramento da qualidade ambiental através de indicadores ambientais mais sensíveis às perturbações, como as propriedades do solo. A Área de Proteção Ambiental das Nascentes do Rio Vermelho apresenta inúmeras cavernas, sendo um dos destinos mais procurados para visitação turística em Goiás, entretanto, ainda carece de planejamento para o uso público quanto à prevenção da degradação do solo. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a qualidade do solo, em cinco trilhas dos atrativos turísticos mais visitados na Unidade de Conservação. Os solos, coletados com trado no leito das trilhas, foram avaliados quanto à morfologia: profundidade, cor, textura e consistência; aos seus atributos físicos: composição granulométrica, porosidade, umidade, densidade do solo e resistência mecânica à penetração, e à erodibilidade. A classificação dos solos foi realizada pela avaliação morfológica de perfis situados em cortes de estrada e rio. Os resultados apontam que as trilhas para os atrativos turísticos foram abertas em terrenos variados (próximas aos cursos hídricos, em planícies de inundação ou em áreas elevadas com forte inclinação) e apresentam solos de elevada erodibilidade, evidenciada pela sua classificação em Cambissolos, Neossolos Litólicos e Neossolos Regolíticos e pela textura. A baixa porosidade do solo evidencia a limitada permeabilidade, o que agrava a perda de solo por erosão hídrica em episódios chuvosos, tendo como consequência os processos erosivos lineares, laminares e assoreamento dos corpos hídricos. As análises indicaram a necessidade de constante monitoramento das trilhas para rápida intervenção nos processos erosivos.

Palavras-chave: Planejamento de uso do solo. Conservação do solo. Compactação do solo. Gestão pública.

MORPHOLOGICAL AND PHYSICAL ATTRIBUTES OF SOILS ON THE TOURIST TRAILS OF THE ENVIRONMENTAL PROTECTION AREAS OF THE SPRINGS OF RIO VERMELHO IN GOIÁS - BRAZIL

Abstract

Ecotourism practice does not exempt it from causing environmental impacts demanding environmental quality assessment and monitoring of through better disturbance-sensitive environmental indicators as soil properties. The Environmental Protection Area of the Springs of Rio Vermelho has countless caves being one of the most sought-after destinations for tourism in Goiás, but still lacks planning for public use as regards the prevention of soil degradation. The objective of this research was to assess the quality of soil in five trails of the most visited tourist attractions on the Conservation Unit. Collected by augers on the trails, the soils were evaluated in terms of morphology: depth, color, texture and consistency; its physical attributes: particle composition, porosity, moisture, soil density and mechanical resistance to penetration and to erodibility. The soils were classified by morphological assessment of profiles located in road and river cuts. The results indicate that trails to tourist attractions were opened in different terrains - near waterways, in floodplains or in steeply sloping areas - and have highly erodable soils evidenced by their classification into Cambisols, Litholithic Neosols and Regolithic Ecosystems, and by the texture. Low porosity of soil highlights the limited permeability worsening soil loss due to water erosion in rainy seasons as a consequence of linear and laminar erosion processes and siltation of water bodies. The analyzes indicated the need for constant trail monitoring for fast intervention on erosion processes.

Keywords: Land use planning. Soil conservation. Soil compaction. Public management.

ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS Y FÍSICOS DE LOS SUELOS DE LOS SENDEROS TURÍSTICOS DEL APA DE LAS NACIENTES DEL RÍO VERMELHO, GOIÁS

Resumen

La práctica del ecoturismo no está exenta de causar impactos ambientales, lo que demanda evaluación y monitoreo de calidad ambiental a través de indicadores ambientales sensibles a perturbaciones, como las propiedades del suelo. El área de protección ambiental "Nacientes del Rio Vermelho" presenta inúmeras cuevas, siendo uno de los destinos más buscados para visitas turísticas en Goiás, sin embargo, carece de planificación para el uso público cuanto a prevención de degradación del suelo. El objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad del suelo en cinco senderos de los atractivos turísticos más visitados en la unidad de conservación. Los suelos, colectados por barrena en los senderos, fueron evaluados cuanto a morfología: profundidad, color, textura y consistencia; sus atributos físicos: composición granulométrica, porosidad, humedad, densidad del suelo y resistencia mecánica a penetración y erosionabilidad. La clasificación de los suelos fue realizada por la evaluación morfológica de los

perfiles situados en cortes de caminos y ríos. Los resultados muestran que los senderos para los atractivos turísticos fueron abiertos en terrenos variados (cerca de cursos hídricos, en planicies de inundación o en zonas elevadas con fuerte pendiente) y presentan suelos de elevada erodabilidad, evidenciada por su clasificación en Cambisols, Leptosols y Regosols y por la textura. La baja porosidad del suelo evidencia la limitada permeabilidad, lo que agrava la pérdida del suelo por erosión hídrica en episodios lluviosos, dando lugar a procesos erosivos lineares, laminares y sedimentación de cuerpos hídricos. Los análisis indicaron la necesidad de constante monitoreo de los senderos para rápida intervención en procesos erosivos.

Palabras clave: Planificación del uso del suelo. Conservación del suelo. Compactación del suelo. Gestión pública.

INTRODUÇÃO

O interesse na visitação de atrativos naturais é crescente no mundo e reproduzido no território brasileiro, mas além da observação e vivência do visitante com os atrativos naturais e culturais, o fluxo de visitantes relacionado ao ecoturismo gera uma preocupação entre os gestores e pesquisadores quanto à capacidade de suporte do ambiente onde se localizam os atrativos turísticos como cachoeiras e cavernas. O uso excessivo pode comprometer a qualidade do ecossistema e de diferentes recursos como fauna, flora, água e solos (COLE, 1993; COLE; LANDRES, 1995; HAMMITT; COLE, 1998; FIGUEIREDO *et al.*, 2010). Diversos estudos tratam da conservação da fauna e flora em locais turísticos, mas raros são os estudos que avaliam a qualidade do solo das trilhas de acesso aos atrativos.

O solo é um recurso natural, produto da ação do clima, dos organismos e do tempo sobre as rochas sobre determinado terreno, que leva milhares de anos para se formar (LEPSCH, 2011). Além de ser essencial às atividades humanas, como produção de alimentos e instalação de edificações e malha viária, o solo constitui habitat e substrato para o desenvolvimento da biota (FAO, 2019).

A textura e a estrutura são atributos físicos que determinam a geometria de poros do solo e é por meio desse arranjo poroso que ocorre o fluxo de água, nutrientes e gases no solo. Por isso, tais atributos influenciam a capacidade de retenção e a permeabilidade de água no solo, o desenvolvimento radicular, a adsorção de nutrientes nos sítios de troca do solo, a atividade microbiana e a decomposição e mineralização de carbono no solo (BITTAR; FERREIRA; CORREA, 2013; LIMA *et al.*, 2010; BEUTLER *et al.*, 2001).

O turismo, assim como a agricultura e a pecuária, pode provocar a degradação do solo e comprometer sua qualidade. Os principais impactos antrópicos no solo são: erosão, compactação e poluição (BLANCO; LAL, 2008). A erosão consiste na perda de solo, causada pela ação das águas pluviais (erosão hídrica) ou dos ventos (erosão eólica) e ocorre sob a forma laminar ou linear (BERTONI, LOMBARDI NETO, 2008). A erosão hídrica provoca danos

ambientais e prejuízos econômicos, podendo gerar, no Brasil, perdas anuais de solo na ordem de 3 bilhões de toneladas, com impacto econômico de US\$ 15,7 bilhões (POLIDORO *et al.*, 2021). A compactação é um processo que reduz a porosidade do solo e aumenta a erosão (MOLIN; DIAS; CARBONERA, 2012) e é medida, entre outros métodos de determinação, a partir da resistência do solo à penetração pela metodologia denominada penetrometria (BEUTLER *et al.*, 2007).

A caracterização dos atributos físicos do solo, como textura e resistência à penetração (SENA *et al.*, 2014; RANGEL; GUERRA, 2018; FONSECA FILHO *et al.*, 2019), tem sido utilizada para melhorar a compreensão sobre o funcionamento do solo e suas alterações mediante o uso público, especificamente em trilhas utilizadas para ecoturismo. Estudos realizados em áreas naturais (trilha da cachoeira da Farofa no Parque Nacional da Serra do Cipó e da trilha de Macaúbas na Floresta Nacional de Ritapólis, em Minas Gerais), cujo uso público principal é o ecoturismo, evidenciaram sinais de compactação do solo quando comparados aos solos das laterais das trilhas, não submetidos ao pisoteio (FIGUEIREDO *et al.*, 2010a; FIGUEIREDO *et al.*, 2010b). Outros estudos realizados no Brasil e no Yosemite Park, nos EUA, indicaram a mesma tendência, de solos compactados no leito e não compactados nas laterais não pisoteadas das trilhas de acesso a atrativos turísticos (COLE, 1995; FERREIRA *et al.*, 2016).

A avaliação de indicadores da qualidade do solo em áreas turísticas pode auxiliar no planejamento do uso público de atrativos naturais como as cavernas e cachoeiras, na conservação ambiental e na sustentabilidade (FIGUEIREDO *et al.*, 2010a; FIGUEIREDO *et al.*, 2010b; FIGUEIREDO *et al.*, 2012; RANGEL; GUERRA, 2018; FONSECA FILHO *et al.*, 2019).

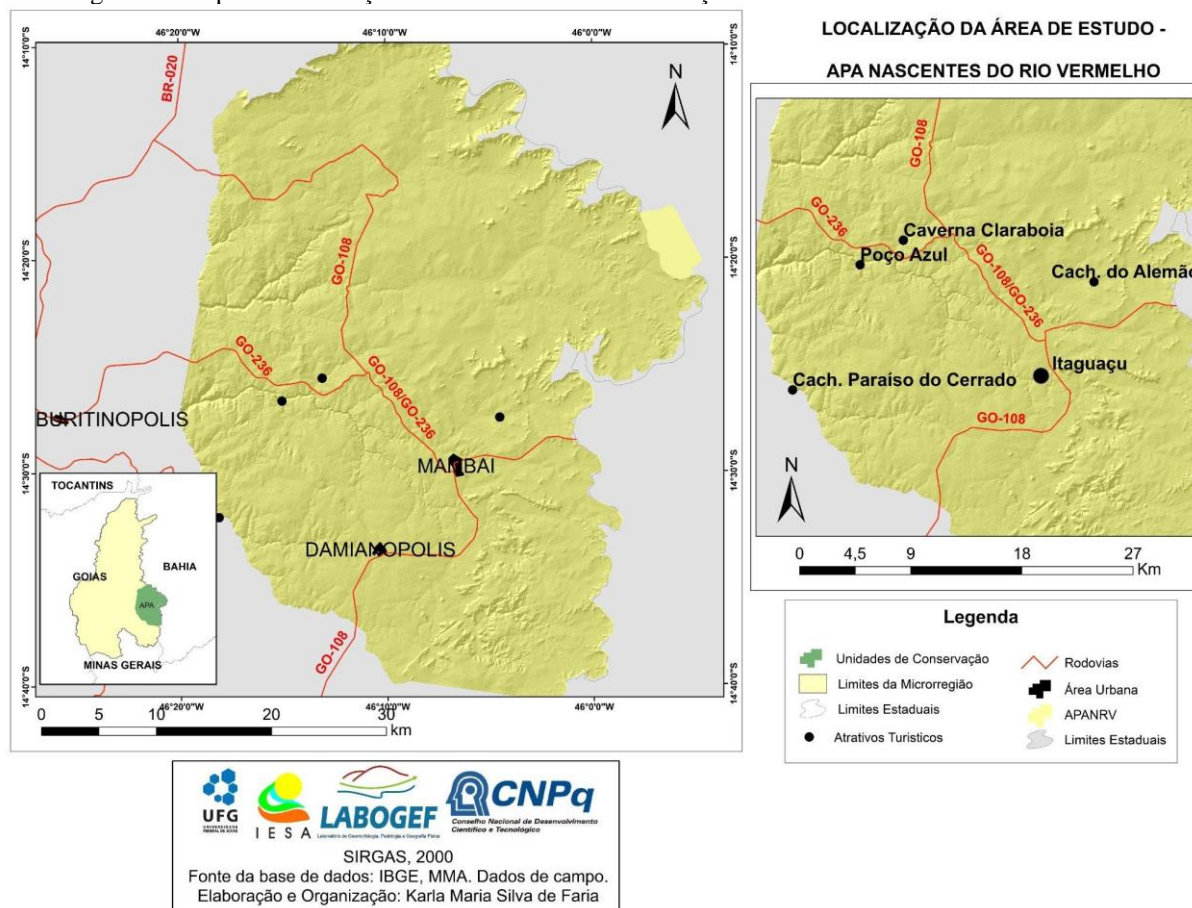
O carste, que integra a área de estudo deste trabalho, é um tipo de relevo formado pela dissolução de alguns tipos de rochas, como as rochas carbonáticas, siliciclásticas e ferríferas. A dissolução das rochas ocorre lentamente devido ao ataque das águas pluviais, acidificadas pelo enriquecimento do CO₂ atmosférico, que percolam pelas trincas e fissuras, alargando-as progressivamente, originando cavidades de vários tamanhos, como cavernas, sumidouros e ressurgências de corpos hídricos. O carste do nordeste goiano é constituído por rochas carbonáticas do Grupo Bambuí (DARDENNE, 1978) e se tornou um importante destino para a prática do ecoturismo e turismo de aventura nos últimos 10 anos, tendo as cavernas e cachoeiras como as atrações turísticas mais procuradas.

Levando-se em conta a importância da conservação dos solos das trilhas que levam às cavernas da Área de Proteção Ambiental das Nascentes do Rio Vermelho (APANRV), em Mambai, Goiás, este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade do solo a partir do levantamento de seus atributos morfológicos: profundidade, cor, textura e consistência; físicos: composição granulométrica, porosidade, umidade, densidade do solo e resistência mecânica do solo à penetração mecânica, e suscetibilidade à erosão.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado na região cárstica do nordeste do Estado de Goiás, na Unidade de Conservação de Uso Sustentável Área de Proteção Ambiental das Nascentes do Rio Vermelho (APANRV). A área total é de 176.324,33 hectares e abrange os municípios de Buritinópolis, Damianópolis, Mambai e Posse, próximos à divisa com o estado da Bahia (Figura 1) e a região tem como principais fontes de renda a agricultura e o ecoturismo (IMB, 2020).

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo e localização dos atrativos turísticos na APANRV.



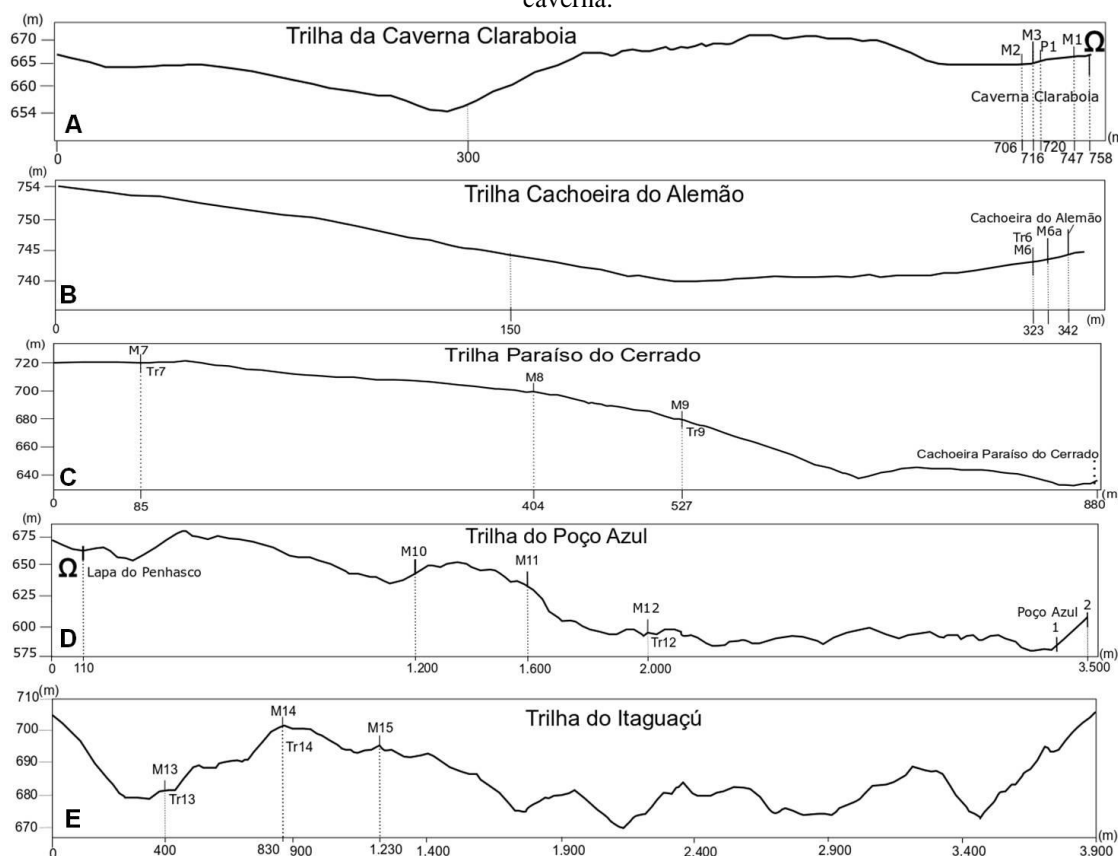
Elaboração: Das autoras (2020).

A região apresenta clima tropical semi-úmido, caracterizado como Aw, segundo a classificação de Köppen, com temperatura média de 24°C e precipitação anual entre 1.250 e 1.750 mm. Destacam-se dois períodos distintos bem definidos: i) seco, de maio a setembro, com precipitação abaixo de 4 mm, em julho, e déficit hídrico e ii) chuvoso, de novembro a março com precipitação média mensal acima de 200 mm e excedente hídrico (FURTADO, 2019).

A seleção das trilhas de acesso aos atrativos foi determinada a partir da demanda dos gestores da APANRV-Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). O levantamento de dados contou com a colaboração de membros do Pequi Espeleogrupo de Pesquisa e Extensão, acompanhados por integrantes da equipe do ICMBio - APANRV.

Para o levantamento de dados morfológicos e físicos dos solos foram percorridas as vias e trilhas de acesso a cinco atrativos turísticos: 1) Caverna Claraboia (também conhecida como Gruta das Dores), 2) Cachoeira do Alemão, 3) Cachoeira Paraíso do Cerrado, 4) Cachoeira Poço Azul e 5) Trilha do Itaguaçu (Figura 2) durante a estação seca.

Figura 2 - Perfis de elevação das trilhas dos atrativos turísticos Caverna Claraboia (A), Cachoeira do Alemão (B), Cachoeira Paraíso do Cerrado (C), Poço Azul (D) e Itaguaçu (E) e, pontos de avaliação dos solos (M's - anéis volumétricos e resistência à penetração, Tr's - tradagens e P's - perfis). O símbolo Ω indica entrada de caverna.



Os solos foram avaliados, prioritariamente, na porção central das trilhas de acesso aos atrativos turísticos (Figura 3A e B) e, de forma complementar em perfis (P1 e P2) (Figura 3C e D), de onde foram coletadas amostras de terra deformadas para análises da morfologia e granulometria, e indeformadas, para análises físicas como umidade, porosidade e densidade do solo.

Figura 3 - Solos amostrados no leito das trilhas por tradagem nos pontos Tr6 (A) e Tr12 (B) e em perfis nos pontos P1 (C) e P2 (D).



Foto: Renata S. Momoli (2017).

O perfil P1 (Figura 3C) foi avaliado na margem do Córrego das Dores, a 50 m de distância da entrada da Caverna Claraboia e P2 (Figura 3D) foi avaliado numa estrada vicinal, a 3,7 km de distância e a montante (cota 807 m de altitude) do início da trilha da Cachoeira do Alemão (cota 754 m).

As amostras deformadas foram coletadas com trado holandês (Figura 3B), até a profundidade máxima de 1 m, em intervalos de 20 cm (0-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm) e, em perfis escavados em cortes em margem de curso hídrico (P1) e de estrada (P2). Amostras de terra indeformadas, com estrutura preservada, foram coletadas na profundidade 0-20 cm, usando anéis volumétricos extraídos do solo por meio de trado tipo Uhland. Com essas amostras foram analisadas a umidade de saturação do solo, umidade na capacidade de campo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, sendo os cálculos de tais atributos realizados conforme descritos em Embrapa (1997).

Os locais avaliados quanto à resistência do solo à penetração mecânica e porosidade com coleta de anéis volumétricos e sua relação com perfil ou tradagem correspondente e o relevo local seguem descritos no Quadro 1.

Quadro 1 - Localização dos pontos de coleta de anéis e avaliação da resistência à penetração (RP) nas trilhas em relação às tradagens, perfis e posição no relevo

| Trilha | Local | Perfil/ Tradagem | Cota (m) | Posição na encosta |
|------------------------------|-------|---------------------|----------|--------------------|
| Caverna Claraboia | M1 | P1 | 657 | Terço final |
| | M2 | | 652 | Terço final |
| | M3 | | 654 | Terço final |
| Cachoeira do Alemão | M6 | Tr6 | 650 | Terço final |
| | M6a | | | |
| Cachoeira Paraíso do Cerrado | M7 | Tr7 | 713 | Terço inicial |
| | M8 | - | 698 | Terço médio |
| | M9 | Tr9 | 675 | Terço final |
| Cachoeira do Poço Azul | M10 | - | 645 | Terço inicial |
| | M11 | - | 641 | Terço médio |
| | M12 | Tr12 | 558 | Terço final |
| Trilha Itaguaçu | M13 | Tr13 | 676 | Terço inicial |
| | M14 | Tr14 | 691 | Terço médio |

Elaboração: Das autoras (2020).

As avaliações morfológicas foram iniciadas em campo e finalizadas no Laboratório de Geomorfologia, Pedologia e Geografia Física do Instituto de Estudos Socioambientais (LABOGEF/IESA), enquanto as análises físicas foram realizadas no Laboratório de Física do Solo da Escola de Agronomia (LFS/EA), ambos na Universidade Federal de Goiás (UFG).

Os atributos morfológicos como cor, profundidade, textura e consistência molhada (pegajosidade e plasticidade), foram avaliados seguindo os procedimentos visuais e sensoriais de campo descritos em Santos *et al.* (2005).

A determinação dos atributos físicos do solo como granulometria (método do densímetro), umidade, porosidade e densidade do solo foi realizada em laboratório, conforme descrito em Embrapa (1997). Para a determinação da umidade, porosidade e densidade do solo, as amostras coletadas com anéis volumétricos foram preparadas e submetidas a diferentes tensões matriciais (0, 1, 3, 6, 10, 33 e 80 KPa) usando mesas de tensão. Após equilibradas nas respectivas tensões, seus pesos foram registrados. Depois de equilibradas a 80 KPa, foram colocadas em estufa a 105°C por 24 h para determinação da massa seca do solo (M_s , expressa em g) e posterior cálculo da densidade do solo (D_s , sendo $D_s = M_s/V_t$, onde V_t = volume total da amostra, expresso em cm^3). A umidade gravimétrica, calculada com base em peso (U , $g \cdot g^{-1}$), foi multiplicada pela D_s para obtenção dos conteúdos volumétricos de água no solo ($\theta = U \times D_s$, expressa em $cm^3 \cdot cm^{-3}$) para cada tensão matricial. A microporosidade (M_i) foi calculada pela diferença entre a porosidade total ($PT = 1 - (D_s/D_p)$ assumindo a densidade de partículas (D_p) como $2,65 \cdot g \cdot cm^{-3}$) e a macroporosidade (M_a), obtida pela diferença de θ a 0 e 6 KPa.

A resistência mecânica do solo à penetração (RP) foi avaliada através de penetrometrias feitas em campo, utilizando um penetrômetro de impacto modelo SondaTerra, na porção central do leito das trilhas e obtendo-se índices de cone. Os valores desses índices foram convertidos para RP expressos em megapascal (MPa) conforme em Stolf *et al.* (2014) e interpretados em relação ao desenvolvimento radicular seguindo os critérios descritos no Quadro 2.

Quadro 2 - Critérios de interpretação das classes de resistência do solo à penetração e correspondência com crescimento de raízes

| Classe | Resistência à penetração (MPa) | Limitações ao desenvolvimento radicular |
|-------------------|---------------------------------------|--|
| Muito baixa | < 1 | Sem limitação |
| Baixa | 1,1 a 2,5 | Limitação fraca |
| Moderada | 2,6 a 5,0 | Moderada restrição |
| Alta | 5,1 a 10,0 | Restrição crítica |
| Muito Alta | 10,1 a 15,0 | Crescimento eventual de raízes |
| Extremamente alta | >15,0 | Sem crescimento de raízes |

Fonte: Adaptado de Moraes *et al.* (2014).

Os solos foram classificados até o segundo nível categórico, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS *et al.*, 2018), após avaliações preliminares de campo complementadas pelos resultados obtidos das análises laboratoriais.

Os solos foram avaliados, também, quanto a sua suscetibilidade à erosão, a partir da sua erodibilidade, dada pelo Fator K utilizando o sistema de classes de erodibilidade em função do tipo de solo (MANNIGEL *et al.*, 2012) (Quadro 3).

Quadro 3 - Classes de erodibilidade em função do fator K

| Classe de erodibilidade | Fator K (t.ha.h.ha⁻¹.MJ⁻¹.mm⁻¹) |
|--------------------------------|---|
| Extremamente alta | >0,06 |
| Muito alta | 0,0450 - 0,0600 |
| Alta | 0,0300 - 0,0450 |
| Média | 0,0150 - 0,0300 |
| Baixa | 0,0090 - 0,0150 |
| Muito baixa | <0,009 |

Fonte: Maniggel *et al.* (2012).

Neste estudo foram considerados, para efeito de cálculo, apenas as camadas e horizontes superficiais.

DESCRIÇÃO DAS TRILHAS DE ACESSO NA APANRV: CAVERNA CLARABOIA, CACHOEIRA DO ALEMÃO, CACHOEIRA PARAÍSO, TRILHA DO POÇO AZUL E TRILHA DO ITAGUAÇÚ

A trilha de acesso à Caverna Claraboia (ou das Dores) apresenta 758 m de extensão, declividade média de 5,4% e máxima de 18,4%. O trajeto inicia numa pequena propriedade rural (Figura 4A) e segue até a entrada da Caverna Claraboia (Figura 4B) às margens do Córrego das Dores.

Figura 4 - Aspectos da paisagem da trilha de acesso (A) à Caverna Claraboia (das Dores) (B).



Fotos: Sérgio Freitas e Avelina C. Ribeiro (2017).

Na estrada vicinal que leva à Cachoeira do Alemão foi observada a presença de uma expressiva erosão linear do tipo ravina, localizada lateralmente ao leito da estrada com grandes dimensões, com até 1,90 m de profundidade, 3 m de largura máxima e em torno de 1,00 km de comprimento (Figura 5A). As causas que levaram à formação desta feição erosiva devem ser investigadas com maior detalhe e atenção pois aparentemente não há focos erosivos próximos que provoquem sua expansão nem declividade suficiente (0-3%) para acelerar a enxurrada.

Figura 5 - Feições erosivas: A - tipo Ravina na estrada dos Cocos, B e C - tipo sulco na trilha de acesso à Cachoeira do Alemão.

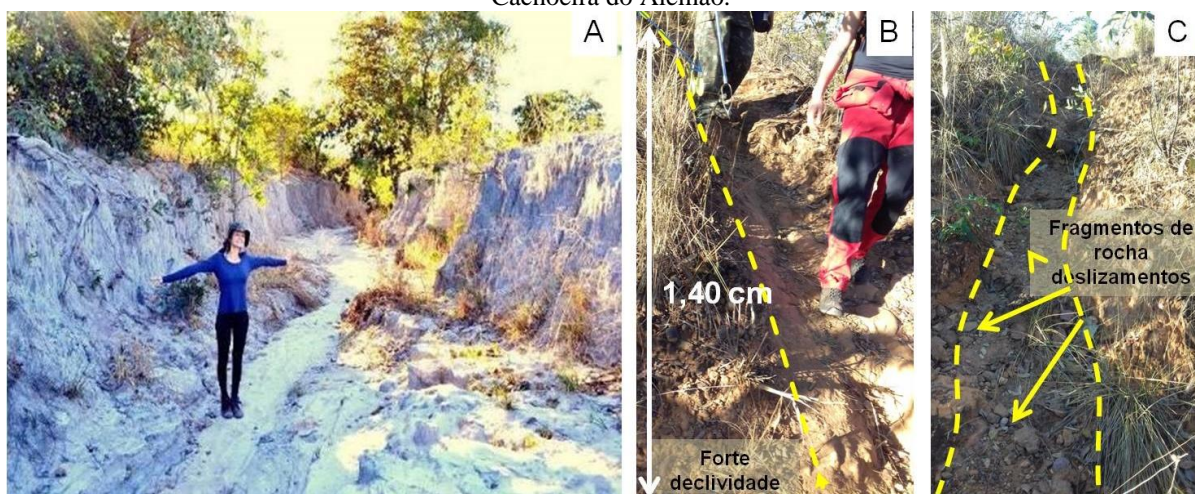


Foto: Avelina C. Ribeiro (2017).

Essa feição erosiva situa-se a montante da Cachoeira do Alemão, sendo uma possível fonte de sedimentos a serem carreados via enxurrada durante eventos chuvosos em direção às partes mais baixas da paisagem.

A trilha de acesso à Cachoeira do Alemão apresenta 342 m de extensão, declividade média de 6,1% e máxima de 15,0%. O terço final da trilha apresenta trechos íngremes com eventual presença de cascalho, propício para aceleração de enxurrada durante eventos chuvosos e erosão (Figura 5B e 5C).

A trilha de acesso à Cachoeira Paraíso do Cerrado inicia numa pequena propriedade rural que possui estrutura para oferecer refeições caseiras e se estende por aproximadamente 880 metros até a queda d'água (Figura 6A). O percurso apresenta declividade média de 8,4% e máxima de 25,8%, saindo da cota 720 m (Figura 6B) e descendo em direção ao vale onde fica a cachoeira a 637 m de altitude (Figura 6C).

Figura 6 - Trecho inicial (A) e intermediário (B) da trilha da Cachoeira Paraíso do Cerrado (C).



Fotos: Avelina C. Ribeiro (2017).

Foram observados afloramentos de blocos de rocha calcária, do tipo matacão, nos trechos mais íngremes do trajeto (Figura 6B). O terreno sustenta vegetação do tipo Mata Seca, comum em ambiente cárstico, com ocorrência de Mata de Galeria no trecho final próximo ao curso hídrico.

A trilha de acesso à Cachoeira do Poço Azul (Figura 7A) inicia próximo à Rodovia GO-236 entre os municípios de Buritinópolis e Mambaí, se estende por aproximadamente 3.500 metros, no Cânion do Rio das Dores até as cachoeiras do Poço Azul 1 (Figura 7C) e Poço Azul 2 e apresenta declividade média de 8,0% e máxima de 25,5%.

Figura 7 - Trilha do Poço Azul, trecho inicial (A), intermediário (afloramento de siltito) (B) e final na Cachoeira do Poço Azul (C).



Foto: Renata Momoli (2017).

A partir do trecho intermediário do trajeto, observa-se a presença de um expressivo desnível no terreno e a aproximadamente 1.430 m de distância do início e a 630 m de altitude surge outro desnível acentuado com características de tufa calcária sobre afloramento do substrato rochoso constituído por siltito (Figura 7B).

A vegetação na parte superior da encosta é composta basicamente por mata seca (Figura 6A), e próximo ao Rio das Dores observa-se a presença de mata de galeria.

A trilha do Itaguaçú (Figura 8) apresenta aproximadamente 3.900 metros de extensão, declividade média de 6,1% e máxima de 16,1%. O trajeto atravessa diferentes ambientes com ampla variação de solos, rochas e vegetação: veredas, mata seca (Figura 8A), mata de galeria (Figura 8B) e campo rupestre (Figura 8C).

Figura 8 - Trilha do Itaguaçu, trecho inicial (A), intermediário (B) e trecho final (C).

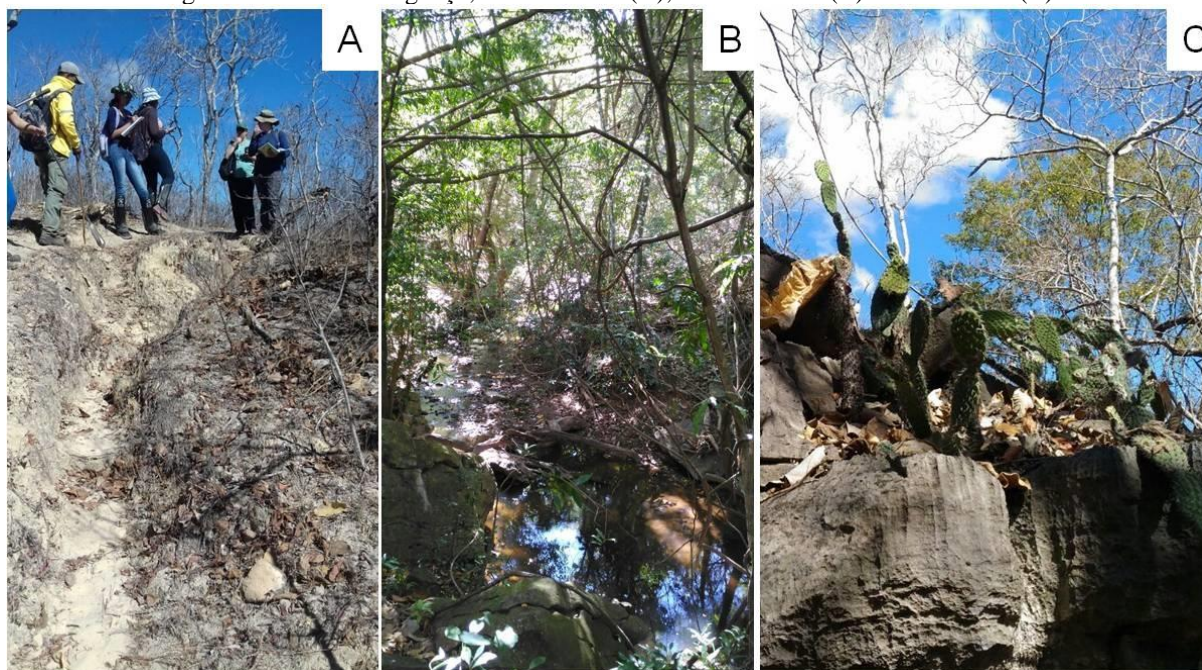


Foto: Renata Momoli (2017).

MORFOLOGIA E GÊNESE DOS SOLOS DO CARSTE DA APANRV

A análise dos atributos morfológicos dos pontos avaliados (Quadro 4) revelou a predominância de solos profundos de textura arenosa e solos rasos de textura argilosa, com exceção do solo próximo à Caverna Claraboia (P1) com textura siltosa.

Quadro 4 - Atributos dos solos

| Local | ID Ponto | Prof. (cm) | Cor | | Consistência Molhada | | Areia | Silte % | Argila | Textura |
|------------------------------|----------|------------|-----------|-------------|----------------------|------------|-------|---------|--------|------------|
| | | | Seca | Úmida | Pegajosid. | Plasticid. | | | | |
| Caverna Claraboia | P 1 | 0-4 | 7,5YR 4/2 | 7,5YR 3/2 | LPeg. | PPlast. | 27 | 29 | 44 | Arg. |
| | | 4-10 | 7,5YR 4/3 | 7,5YR 3/3 | NPeg. | PPlast. | 21 | 48 | 31 | F-Arg |
| | | 10-17 | 7,5YR 3/4 | 7,5YR 3/4 | NPeg. | PPlast. | 19 | 49 | 32 | F-Arg/Silt |
| | | 17-60 | 7,5YR 3/4 | 7,5YR 2/4 | NPeg. | PPlast. | 20 | 47 | 33 | F-Arg/Silt |
| | | 60-70 | 7,5YR 4/4 | 7,5YR 3/4 | Peg. | MPlast | 22 | 33 | 45 | Arg. |
| | | 70-120 | 7,5YR 4/6 | 7,5YR 3/6 | LPeg. | MPlast | 16 | 43 | 41 | Arg/Silt. |
| Cachoeira do Alemão | P 2 | 0-14 | 10YR 5/1 | 10YR 4/1 | NPeg. | NPlast | 87 | 2 | 11 | Are-F. |
| | | 14-34 | 10YR 5/1 | 10YR 4/1 | NPeg. | NPlast | 87 | 2 | 11 | Are-F. |
| | | 34-55 | 10YR 6/2 | 10YR 5/1 | NPeg. | NPlast | 87 | 6 | 7 | Are-F. |
| | | 55-78 | 10YR 7/1 | 10YR 5/1 | NPeg. | NPlast | 85 | 2 | 13 | Are-F. |
| | | 78-100 | 10YR 7/2 | 10YR 5/2 | NPeg. | NPlast | 81 | 3 | 16 | F-are. |
| | | 100-120 | 10YR 7/2 | 10YR 5/2 | NPeg. | NPlast | 81 | 3 | 16 | F-are. |
| | Tr6 | 0-20 | 5 YR 4/6 | 5 YR 3/3 | PPeg. | NPlast | 89 | 4 | 7 | Aren. |
| | | 20-40 | 7,5YR 5/6 | 5 YR 3/4 | NPeg. | NPlast | 85 | 4 | 11 | Are-F. |
| | | 40-60 | 5 YR 5/4 | 5 YR 4/6 | NPeg. | NPlast | 87 | 4 | 9 | Are-F. |
| | | 60-80 | 5 YR 7/3 | 5 YR 5/4 | NPeg. | NPlast | 89 | 2 | 9 | Are-F. |
| 80-100 | | 7,5YR 5/4 | 7,5YR 4/4 | NPeg. | NPlast | 89 | 2 | 9 | Are-F. | |
| Cachoeira Paraíso do Cerrado | Tr7 | 0-20 | 7.5YR 3/3 | 7.5YR 2,5/2 | LPeg. | Plast. | 50 | 13 | 37 | Arg-are |
| | | 20-40 | 7.5YR 3/3 | 7.5YR 2,5/2 | LPeg. | Plast. | 39 | 17 | 44 | Arg. |
| | | 40-60 | 7.5YR 4/4 | 7.5YR 3/3 | Peg. | MPlast | 37 | 13 | 50 | Arg. |
| | Tr9 | 0-20 | 7.5YR 3/2 | 7.5YR 2,5/2 | LPeg. | Plast. | 19 | 28 | 53 | Arg. |
| | | 20-40 | 7.5YR 3/2 | 7.5YR 2,5/2 | Peg. | Plast. | 19 | 28 | 53 | Arg. |
| Cachoeira do Poço Azul | Tr12 | 0-20 | 7.5YR 6/6 | 7.5YR 5/6 | NPeg. | NPlast | 90 | 3 | 7 | Aren. |
| | | 20-40 | 7.5YR 7/4 | 7.5YR 4/6 | NPeg. | NPlast | 90 | 3 | 7 | Aren. |
| | | 40-60 | 7.5YR 6/4 | 7.5YR 4/4 | NPeg. | NPlast | 90 | 3 | 7 | Aren. |
| Trilha Itaguaçu | Tr13 | 0-20 | 7.5YR 4/6 | 7.5YR 3/3 | Peg. | Plast. | 53 | 13 | 34 | F-arg-are. |
| | | 20-40 | 7.5YR 4/6 | 7.5YR 3/3 | Peg. | MPlast | 29 | 21 | 50 | Arg. |
| | Tr14* | 0-20 | 10YR 6/3 | 10YR 5/2 | NPeg. | NPlast | 81 | 8 | 11 | Are-F. |

Elaboração: Das autoras (2020).

* Fragmentos de rocha. Arg.= argilosa, F-Arg.= Franco-argilosa, Are-F= Areia franca, F-are.= Franco-arenosa, Arg-are = Argilo-arenosa, F-arg-are.= Franco-argilo-arenosa, Aren.= arenosa, Arg/Silt.= argilo-siltosa. LPeg. = ligeiramente pegajoso, Peg. = pegajoso, PPeg. = pouco pegajoso, NPeg. = não pegajoso. MPlast. = muito plástico, PPlast. = pouco plástico, Plast. = plástico, NPlast. = não plástico.

O solo identificado no perfil P1 (Figura 8A), próximo à entrada da Caverna Claraboia, foi classificado como Cambissolo, pois apesar da profundidade de 1,20 m, apresentou textura argilo-siltosa, indicativa de pouca intemperização. Sua classificação como Cambissolo foi confirmada pela presença de saprólito de siltito visível na base, adjacente ao leito do Córrego das Dores. Os solos dessa região se desenvolvem sobre rochas da Formação Lagoa do Jacaré do Grupo Bambuí (LACERDA, 1999) onde, segundo estudos geológicos e estratigráficos

(DARDENNE, 1978), a rocha siltito encontra-se sucessivamente intercalada com a rocha Calcário.

O perfil P2 (Figura 8B), situado em corte na estrada vicinal a 3,67 km do início da trilha de acesso à Cachoeira do Alemão apresentou profundidade de 1,20 m, textura arenosa e coloração clara, sendo classificado como Neossolo Quartzarênico. Sua pedogênese é compatível com a ocorrência, a leste e a montante do P2, dos Arenitos da Formação Urucuia (GOIÁS, 2006), que sofreram erosão e possibilitaram o acúmulo de sedimentos arenosos de mineralogia quartzítica. O solo correspondente à tradagem Tr6 (Figura 8C), próximo ao lago formado pela Cachoeira do Alemão e a jusante do P2, apresentou textura arenosa com coloração avermelhada, o que indica a contribuição de óxidos e hidróxidos de ferro, como goetita e hematita. A partir da profundidade 70 cm, o solo apresentou aumento gradativo de umidade devido à proximidade do lago da cachoeira. Este solo tem gênese relacionada à deposição de sedimentos aluviais e como apresenta abundante vegetação instalada, será considerado, neste estudo, como Neossolo Flúvico. A granulometria essencialmente arenosa dos solos avaliados em P2 e Tr6 são compatíveis com a influência, em sua gênese, dos sedimentos arenosos provenientes da erosão dos Arenitos da Formação Urucuia, situados a leste, na Serra Geral, na divisa entre Goiás e Bahia.

O terreno da trilha que leva à Cachoeira Paraíso do Cerrado conta com a alternância de solos e matações de rochas carbonáticas na superfície, identificadas pela reação efervescente ao gotejamento com HCl e presença de feições, caneluras de dissolução, denominadas lapiás (Figura 5B). Essa alternância provoca pequenas variações na classificação destes solos pouco desenvolvidos e pouco profundos, variando entre 40 cm e 60 cm de profundidade. A tradagem Tr7 (Figura 8D), até 60 cm, indicou a presença de Neossolo Regolítico, enquanto a tradagem Tr9 (Figura 5B), limitada a 40 cm de profundidade, indicou a presença de Neossolo Litólico. A presença de solos pouco profundos formados a partir de rochas carbonáticas é típica do carste (terrenos formados a partir de rochas solúveis), onde os minerais das rochas (carbonato de cálcio e/ou magnésio) são dissolvidos e lixiviados, restando pouco ou quase nada para a pedogênese local, levando à exposição das rochas que compõem o material de origem.

O solo do trecho inicial e elevado da trilha do Poço Azul, próximo ao ponto M11 (Figura 2) onde os afloramentos de rocha são abundantes (Figuras 6A e 6B), corresponde à classe dos Neossolos Litólicos (Figura 6A). Os Neossolos Litólicos são solos extremamente rasos (menos de 50 cm de profundidade) e foram encontrados tanto sobre calcário (Figura 6B) como sobre siltito (Figura 6C). Na parte baixa da trilha, às margens do Rio das Dores, o solo amostrado por

meio de tradagem Tr12 (Figura 8E) apresenta coloração brunada, é profundo, arenoso e apresenta baixa coesão entre partículas. Este solo foi classificado como Neossolo Quartzarênico devido à sua gênese relacionada à deposição de sedimentos aluviais arenosos, transportados pelo rio durante as cheias em áreas a montante e por sustentar densa vegetação do tipo mata de galeria (Figura 3B).

No início da trilha do Itaguaçu, a tradagem Tr13 (Figura 8A) foi limitada a 40 cm, o que poderia levar à errônea interpretação desse solo como Neossolo Litólico, entretanto um corte em barranco à distância de 0,5 metro evidenciou a presença de um horizonte adensado, que impedia a penetração do trado. No perfil desse barranco, foi observada a presença do material de origem siltito e a presença de horizonte B incipiente, característico de Cambissolo.

O siltito (Figura 7B) é uma rocha que apresenta baixa porosidade, predominantemente fissural e laminar, condicionando baixa permeabilidade à água. Isso dificulta a transformação dos componentes minerais por hidrólise e atrasa a formação de horizonte B, resultando em solos pouco desenvolvidos e de baixa permeabilidade. A presença de vegetação do tipo mata seca (Figura 8C) corrobora a ideia de ocorrência de déficit hídrico no Cambissolo do ponto Tr13.

À medida que a trilha avança e atravessa terrenos sustentados por rochas calcárias (Figura 8C), os solos tendem a ficar extremamente rasos e a quantidade de afloramento de rocha aumenta consideravelmente, dando origem à vegetação rupestre xerófita, composta predominantemente por cactáceas. A variação no material de origem, siltito e calcário, influencia na ampla variabilidade textural dos solos amostrados nas tradagens Tr13 e Tr14, respectivamente.

CLASSIFICAÇÃO E ERODIBILIDADE DO SOLO (FATOR K)

Os solos podem apresentar atributos intrínsecos, como a textura, que determinam sua erodibilidade ou aspectos relacionados a condições externas como relevo e declividade que determinam sua suscetibilidade à erosão. As características da precipitação também afetam a forma e intensidade que os solos são perdidos por erosão hídrica, indicadas pela erosividade.

Dos oito solos avaliados, quatro apresentaram textura com elevado teor de areia: os Neossolos Quartzarênicos da Cachoeira do Alemão (P2) e da Cachoeira do Poço Azul (Tr12), o Neossolo Flúvico da Cachoeira do Alemão (Tr6) e o Neossolo Litólico da Trilha do Itaguaçu (Tr14) (Quadro 5).

Quadro 5 - Classificação dos solos, classe textural e relevo das trilhas da APANRV

| TRILHA | TIPO SOLO | TEXTURA PREDOMINANTE | RELEVO |
|------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------|
| Caverna Claraboia | Cambissolo Háplico - P1 | Franco-argilo-siltosa | Suave ondulado |
| Cachoeira do Alemão | Neossolo Quartzarênico - P2 | Areia franca | Plano |
| | Neossolo Flúvico - Tr6 | Areia franca | Suave ondulado |
| Cachoeira Paraíso do Cerrado | Neossolo Regolítico - Tr7 | Argilosa | Suave ondulado |
| | Neossolo Litólico - Tr9 | Argilosa | Forte ondulado |
| Cachoeira do Poço Azul | Neossolo Quartzarênico - Tr12 | Arenosa | Plano |
| Itaguaçu | Cambissolo Háplico - Tr13 | Franco-argilo-arenosa a Argilosa | Ondulado |
| | Neossolo Litólico - Tr14 | Arenosa | Ondulado |

Elaboração: Das autoras (2020).

Os solos com textura arenosa são facilmente erodíveis, pois as partículas da fração areia têm baixa agregação e baixa resistência ao desprendimento da matriz, sendo muito friáveis, principalmente em condições de enxurrada. Nos terrenos íngremes, com declividade acima de 30%, a enxurrada ganha forte aceleração devido à gravidade, aumentando seu potencial de desagregação e transporte do solo superficial, provocando forte erosão. A propensão à erosão é ainda mais favorecida em locais com substrato rochoso do tipo siltito, que apresenta baixa permeabilidade à água e elevado potencial de escoamento superficial e risco de erosão hídrica nesses terrenos.

A erodibilidade, calculada a partir do Fator K (que considera a composição granulométrica dos solos), evidencia ampla variabilidade entre os solos das diferentes trilhas da APANRV (Tabela 1).

Tabela 1 - Valores calculados (Fator K) e classes de interpretação da erodibilidade do solo nos pontos de amostragem.

| Local | ID Ponto | Fator K (t.h.MJ ⁻¹ .mm ⁻¹) | Classe de erodibilidade |
|------------------------------|----------|---|-------------------------|
| Caverna Claraboia | P 1 | 0,013 | Baixa |
| Cachoeira do Alemão | P 2 | 0,081 | Extremamente alta |
| | Tr6 | 0,133 | Extremamente alta |
| Cachoeira Paraíso do Cerrado | Tr7 | 0,017 | Média |
| | Tr9 | 0,009 | Muito baixa |
| Cachoeira do Poço Azul | Tr12 | 0,133 | Extremamente alta |
| Trilha Itaguaçu | Tr13 | 0,019 | Média |
| | Tr14 | 0,081 | Extremamente alta |

Elaboração: Das autoras (2020).

De acordo com a proposta de Mannigel (2012), os solos da APANRV com maior suscetibilidade à erosão (classe extremamente alta), devido ao maior teor de areia na sua

composição, se encontram nas trilhas de acesso à Cachoeira do Alemão, Cachoeira do Poço Azul e na Trilha do Itaguaçu (apenas Tr14) (Tabela 1). Estes locais necessitam de intervenções que possam evitar e mitigar a perda de solo e comprometimento dos ecossistemas associados, como dificuldade de desenvolvimento da vegetação nativa e assoreamento dos corpos hídricos.

Goulart *et al.* (2019) destacam que a predominância de solos arenosos confere à área da Unidade de Conservação (APANRV) fragilidade hídrica, potencializada pelo relevo e tipo de uso, de cobertura vegetal ou uso antrópico. Adicionalmente, a erosividade das chuvas na região da APANRV, na faixa de 8.000 a 10.000 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹ é considerada muito alta (OLIVEIRA *et al.*, 2012) e reflete o elevado potencial de provocar erosão devido à intensidade das precipitações incidentes na região.

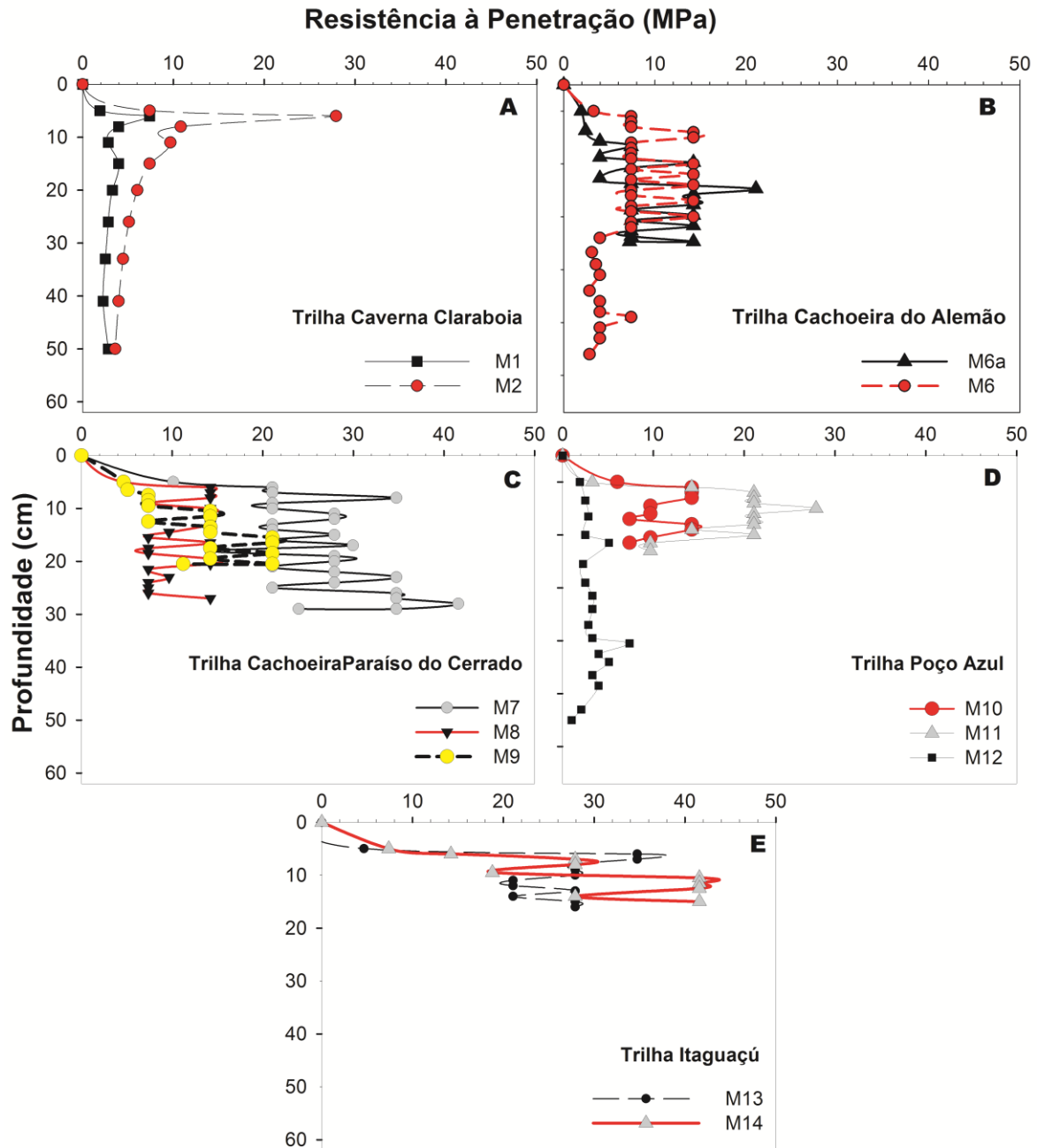
Estudo sobre a erodibilidade em Latossolo Vermelho, Argissolo Vermelho, Nitossolo Vermelho e Neossolo Quartzarênico em outras regiões de Goiás corroboram a tendência da maior propensão à erodibilidade do Neossolo Quartzarênico (CASTRO *et al.*, 2011).

Os solos mais argilosos, como os das trilhas de acesso à Caverna Claraboia e Cachoeira Paraíso do Cerrado apresentaram menor erodibilidade e menor propensão à erosão, podendo ser considerados mais resistentes/resilientes ao pisoteio derivado do uso público (Tabela 1).

ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO: RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DE RAÍZES, POROSIDADE, DENSIDADE E UMIDADE

A avaliação de atributos físicos como a resistência do solo à penetração mecânica (RP) no leito das trilhas turísticas do carste da APANRV revelou forte heterogeneidade entre os locais estudados, conforme observa-se na Figura 9. Em geral, os valores de RP encontrados nas trilhas são considerados altos a extremamente altos, conforme os critérios apresentados no Quadro 2.

Figura 9 - Resistência à penetração do solo das trilhas Caverna Claraboia (A), Cachoeira do Alemão (B), Cachoeira Paraíso do Cerrado (C), Poço Azul (D) e Itaguaçu (E) da APANRV.



Elaboração: Das autoras (2020).

Considerando-se que a RP tem relação direta com a Ds e inversa com o grau de umidade do solo (BARROS *et al.*, 2019; MORAES *et al.*, 2014; WATANABE *et al.*, 2000), para um mesmo valor de umidade, quanto maior o teor de argila do solo, maior será a RP (ANDRADE *et al.*, 2013). No entanto, independente da textura do solo, no período seco do ano valores de RP elevados são esperados e, portanto, não se pode afirmar que os pontos analisados estão compactados, embora sejam, de modo geral, extremamente elevados.

As penetrometrias realizadas na porção central do leito da trilha da Caverna Claraboia atingiram a profundidade máxima de 0,6 m e indicaram maior RP nos primeiros 0,10 m do solo, a partir da superfície, nos pontos M1 e M2. Conforme se observa na Tabela 2, o ponto M1 apresentou valor médio de 3,24 MPa, considerado de moderada resistência, mas apresentou valor máximo de 7,38 MPa, considerado alto. No ponto M2, o valor médio de 8,14 MPa e máximo de 27,91 MPa são elevados e podem inviabilizar o desenvolvimento de raízes no solo.

Tabela 2 - Valores médios e máximos de resistência do solo à penetração mecânica (RP) nos pontos amostrados em cada tipo de solo

| Trilha | Tipo solo | Ponto | Prof. Máxima (m) | RP | RP |
|------------------------------|------------------------|-------|------------------|-------|--------|
| | | | | média | máxima |
| | | | | MPa | |
| Caverna Claraboia | Cambissolo Háplico | M1 | 0,6 | 3,24 | 7,38 |
| | Cambissolo Háplico | M2 | 0,6 | 8,14 | 27,91 |
| Cachoeira do Alemão | Neossolo Flúvico | M6a | 0,29 | 9,43 | 21,07 |
| | Neossolo Flúvico | M6 | 0,51 | 7,56 | 14,23 |
| Cachoeira Paraíso do Cerrado | Neossolo Regolítico | M7 | 0,29 | 26,19 | 41,59 |
| | Neossolo Litólico | M8 | 0,29 | 10,89 | 14,26 |
| | Neossolo Litólico | M9 | 0,29 | 13,06 | 21,07 |
| Cachoeira Poço Azul | Cambissolo Háplico | M10 | 0,16 | 10,99 | 14,23 |
| | Cambissolo Háplico | M11 | 0,18 | 17,42 | 27,91 |
| | Neossolo Quartzarênico | M12 | 0,50 | 3,28 | 7,40 |
| Trilha do Itaguaçu | Cambissolo Háplico | M13 | 0,16 | 25,40 | 34,75 |
| | Neossolo Litólico | M14 | 0,18 | 30,20 | 41,59 |

Elaboração: Das autoras (2020).

Na trilha da Cachoeira do Alemão, as penetrometrias foram realizadas na sua porção mais rebaixada, próxima ao lago formado pela cachoeira. A profundidade máxima alcançada no ponto M6a foi de 0,29 m e de 0,51 m em M6, o que indica expressiva variação espacial observada em pontos distantes 11,75 m entre si. Outra variação também foi observada entre M6a e M6: i) para os valores médios: 9,43 e 7,56 MPa; ii) para os valores máximos: 21,07 MPa, identificado na profundidade de 0,19 m, e 14,23 MPa, identificado pela primeira vez a 0,09 m. Da mesma forma que observado para os pontos analisados na trilha da caverna Claraboia, esses valores de RP podem impedir o desenvolvimento de raízes.

Na trilha da Cachoeira Paraíso do Cerrado, a profundidade máxima avaliada foi 0,29 m. Os valores médios de RP variaram entre 26,19, 10,89 e 13,06 MPa enquanto os valores máximos variaram entre 41,59; 14,26 e 21,07 MPa para os pontos M7, M8 e M9, respectivamente. Todos os valores observados nesses pontos são considerados extremamente elevados, porém há de se ressaltar que essas avaliações foram realizadas apenas para caracterização da resistência que o solo oferece à penetração de uma haste metálica no solo no

período seco. Os elevados valores médios e máximos da RP observados no ponto M7 em relação aos demais pontos, provavelmente refletem sua textura argilosa a muito argilosa, seu conteúdo volumétrico de água inferior a 50%, além da maior pressão exercida sobre essa trilha pelo tráfego de veículos, pois nas demais trilhas apenas há tráfego de pessoas.

Nas porções elevadas da trilha do Poço Azul, nos Cambissolos Háplicos com afloramento de siltito (pontos M10 e M11), a profundidade máxima de penetração do equipamento foi de 0,16 e 0,18 m, respectivamente, enquanto Neossolo Quartzarênico com textura arenosa (ponto M12), às margens do Córrego das Dores foi de 0,50 m. Os valores médios de RP correspondem à 10,99; 17,42 e 3,28 MPa e os valores máximos à 14,23; 27,91 e 7,40 MPa para os pontos M10, M11 e M12, respectivamente. Os maiores valores de RP nos Cambissolos Háplicos encontrados nessa trilha em relação ao Neossolo Quartzarênico podem ser explicados pela diferença na quantidade de partículas finas (tamanhos silte e argila) que compõe a classe textural de cada tipo de solo, pois quanto maior a fração de partículas minerais com menor diâmetro na classe textural, maior RP para uma mesma condição de umidade do solo (ANDRADE *et al.*, 2013).

Os solos do leito da trilha do Itaguaçu permitiram a penetração do equipamento até 0,18 m de profundidade máxima. Os valores médios de RP variaram entre 25,40 e 30,20 MPa enquanto os valores máximos variaram entre 34,75 e 41,59 MPa para os pontos M13 e M14, respectivamente. Esses valores, superiores aos observados nas demais trilhas, podem estar associados à textura do solo, classificada em muito argilosa no Cambissolo (M13) e ao baixo conteúdo volumétrico de água no Neossolo Litólico (M14), que apresenta textura média a arenosa. Estudos mostram que quanto maior a quantidade de argila que um solo apresenta, maior sua RP e maior sua umidade (BEUTLER *et al.*, 2002; LIMA *et al.*, 2010; MORAES *et al.*, 2014).

De acordo com os resultados, observa-se que os maiores valores de RP foram observados nos Cambissolos desenvolvidos sobre siltitos e nos Neossolos Litólicos desenvolvidos sobre siltitos e calcários da trilha do Itaguaçu, enquanto os menores valores foram encontrados no Neossolo Quartzarênico às margens do Rio das Dores, na trilha do Poço Azul e no Cambissolo desenvolvido sobre siltito, da trilha da Caverna Claraboia (Tabela 2).

Os valores médios de RP observados nos solos da APANRV ultrapassaram os valores observados nas trilhas turísticas do estado de Minas Gerais por Figueiredo *et al.* (2010), excetuando dois pontos, o Cambissolo de textura siltosa da Caverna Claraboia e o Neossolo Quartzarênico da Trilha do Poço Azul. Enquanto nos solos das trilhas mineiras foram

encontrados valores médios de 3,7 MPa, nas trilhas goianas da APANRV foram encontrados valores médios variando entre 3,24 e 30,0 MPa.

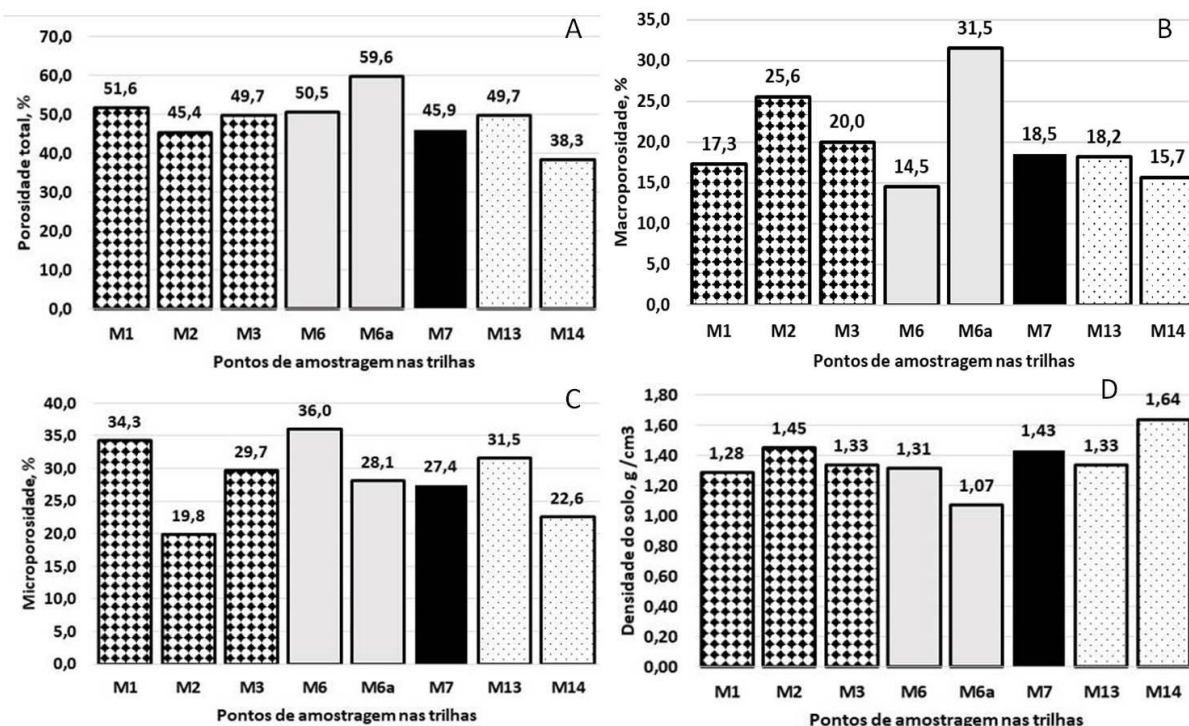
A expressiva diferença encontrada nos Cambissolos das trilhas da Caverna Claraboia e Itaguaçu pode estar relacionada à atividade biológica exercida, principalmente, pelas raízes das árvores, responsáveis pelo aumento da porosidade do solo. Na trilha da Caverna Claraboia, foi verificada a presença de densa cobertura florestal de mata de galeria sobre o Cambissolo, enquanto na trilha do Itaguaçu, a vegetação predominante era floresta de mata seca, com menor densidade e ausência de substrato arbustivo do tipo sub-bosque. Estudos realizados em floresta tropical na China demonstraram que bioporos relacionados às raízes de plantas promoveram o fluxo subsuperficial da água e reduziram os processos erosivos em solos oxídicos (NESPOULOUS *et al.*, 2019).

A distribuição dos valores de RP nos locais de amostragem reflete a influência da composição granulométrica, do arranjo de poros e do conteúdo de água no comportamento dessa variável. Dos pontos analisados, 64% apresentam fortes restrições ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas no período seco.

Lima *et al.* (2010) estudando diferentes solos cultivados com cafeeiros e pastagem, encontraram valores de RP para um Cambissolo Háptico distrófico com textura franco-argilo-arenosa de 2,27 a 2,70 MPa, mas para RP determinada quando o solo se encontrava úmido.

Além da umidade e da granulometria do solo, a RP tem relação direta e positiva com a densidade do solo (D_s) (TORMENA *et al.*, 2002). Observa-se na Figura 10 que o ponto M14, amostrado no Neossolo Litólico da trilha Itaguaçu e que possui classe textural média a arenosa, além de apresentar maior RP (Tabela 2), também apresenta maior D_s e menor porosidade total (PT). Essa figura também mostra variações dos atributos físicos nas mesmas classes de solo.

Figura 10 - Porosidade total (A), macroporosidade (B), microporosidade (C) e densidade do solo (D) nos pontos de amostragem no leito das trilhas da Caverna Claraboia (M1, M2, M3), Cachoeira do Alemão (M6, M6a), Cachoeira Paraíso do Cerrado (M7) e Trilha Itaguaçu (M13, M14).



Elaboração: Das autoras (2020).

Os Cambissolos das trilhas da Caverna Claraboia (M1, M2 e M3) e Itaguaçu (M13) apresentam valor médio de PT de 49% e baixo coeficiente de variação ($CV = 6,1\%$). O Neossolo Flúvico da Cachoeira do Alemão (ponto M6a) possui maior PT, maior macroporosidade e menor D_s entre os solos das trilhas avaliadas, devido a sua textura arenosa e provavelmente, associada à constante deposição de sedimentos da margem do lago formado pela cachoeira. O menor valor de PT foi encontrado no Neossolo Litólico na trilha Itaguaçu (M14) e pode estar relacionado à menor porosidade do material de origem, siltito da Formação Lagoa do Jacaré, Grupo Bambuí. Estudos com siltitos da Formação Corumbataí apresentaram porosidade variando de 2,43 a 34,05% (ALMEIDA *et al.*, 2002).

De acordo com Kiehl (1979), um solo mineral ideal deve apresentar 50% de porosidade total. Nesse sentido, entre os Cambissolos estudados, apenas o ponto M1 do Cambissolo da trilha da Caverna Claraboia satisfaz esse critério. Entre os Neossolos, apenas os pontos amostrados na trilha da Cachoeira do Alemão (M6 e M6a) possuem $PT > 50\%$.

A PT pode ser dividida em macroporos (Ma) e microporos (Mi), conforme ilustrado na Figura 10. Pode-se notar, nessa figura, que a macroporosidade, nos pontos de amostragem no Cambissolo da trilha da Caverna Claraboia, variou em torno de 20%, com valor médio de 21%.

Com exceção do Neossolo Flúvico (ponto M6a), os demais Neossolos apresentaram um valor médio de M_a de 16%, com variação de 12,6%.

A maior M_i foi observada no Neossolo Flúvico (ponto M6) da trilha da Cachoeira do Alemão. Os Cambissolos da trilha da Caverna Claraboia (ponto M1), com textura argilo-siltosa, e o da trilha Itaguaçu (ponto M13), com textura muito argilosa, também possuem M_i superior a 30% do espaço poroso total. Os demais Cambissolos e Neossolos apresentam valores de $M_i < 30\%$, em especial o Cambissolo do ponto M2 da trilha da Caverna Claraboia, que apresentou menor M_i entre os pontos avaliados.

Em relação à proporção de poros por tamanho, é desejável que um solo possua $1/3$ de M_a e $2/3$ de M_i da porosidade total calculada para garantir o fluxo das trocas gasosas na solução do solo e a retenção de água no solo em quantidade adequada para o bom desenvolvimento das plantas. Considerando essa relação de tamanho de poros, o ponto M1 do Cambissolo da trilha da Caverna Claraboia, o ponto M6 do Neossolo Flúvico da trilha da Cachoeira do Alemão e o ponto M14 do Neossolo Litólico da trilha Itaguaçu, apresentam tal proporção de poros. Nos pontos M2, do Cambissolo da trilha da Caverna Claraboia, que possui textura argilo-siltosa e o M6a do Neossolo Flúvico, textura arenosa, da trilha da Caverna do Alemão, a M_a é superior a M_i , o que confere a esses solos uma tendência de melhor infiltração de água em superfície, porém baixa capacidade de armazenamento de água no solo.

Em geral, a D_s variou de $1,07 \text{ g.cm}^{-3}$ a $1,64 \text{ g.cm}^{-3}$ entre os solos estudados (Figura 10), com valor médio de $1,36 \text{ g.cm}^{-3}$ e variação de 11,9%. O valor médio de D_s dos Cambissolos (pontos M1, M2, M3 e M13) foi de $1,35 \text{ g.cm}^{-3}$ com coeficiente de variação 5,2%. Lima *et al.* (2010) encontraram valores de D_s para um Cambissolo Háptico distrófico variando de 1,32 a $1,46 \text{ g.cm}^{-3}$ no Estado de Minas Gerais.

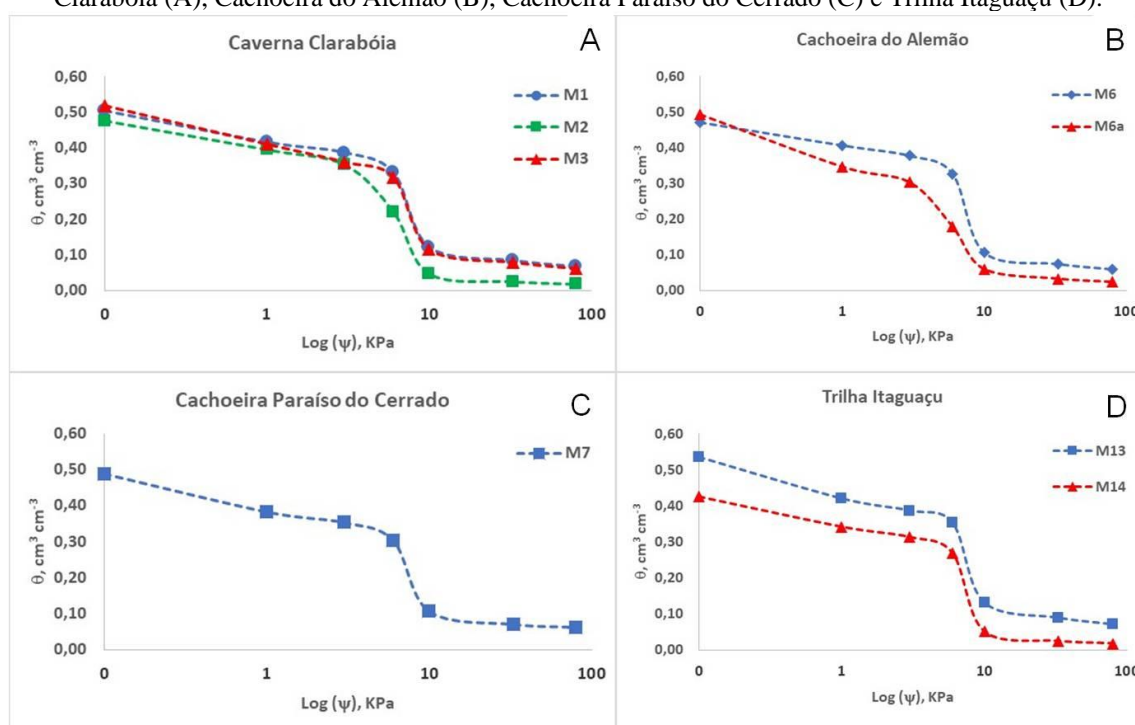
O valor médio de D_s dos Neossolos (pontos M6, M6a, M7 e M14) corresponde a $1,36 \text{ g.cm}^{-3}$ com amplitude de variação 17,3%. O maior valor de D_s , obtido no ponto M14 do Neossolo Litólico da Trilha Itaguaçu, pode estar relacionado à posição de coleta das amostras, extraídas entre 0 a 20 cm, na posição central entre o centro do leito da trilha e o final do leito, às margens da área externa da trilha, portanto em posição sujeita ao tráfego de pessoas.

Os maiores valores de D_s e de RP e os menores valores de PT e M_a encontrados no ponto M14 em relação aos demais, podem estar refletindo um processo de compactação do solo causado por ação antrópica, mas podem também estar refletindo o efeito da textura. Embora esse solo tenha textura arenosa, o afloramento de siltitos e arenitos (Figura 5) propiciam a formação de areias finas, conforme experimentado pelo método do tato durante a classificação

do solo em campo. Quanto maior quantidade de partículas finas, maior a RP e Ds de um solo (ANDRADE *et al.*, 2013). Medeiros *et al.* (2013), caracterizando Neossolos Litólicos da região do Seridó, RN, com 46% da fração areia composta por areia fina e de 30 a 36% de areia grossa, e fração silte duas vezes maior que a fração argila, encontraram valores de Ds no horizonte superficial (0 – 20cm) desses solos variando de 1,45 a 1,71 g.cm⁻³ e de PT entre 29,4 a 42,2%. O valor de Ds do ponto M14 está dentro da faixa de valores encontrados por Medeiros *et al.* (2013) e é inferior aos valores considerados como críticos para solos arenosos por Reichert *et al.* (2003), de 1,70 a 1,80 g.cm⁻³.

O menor valor de Ds encontrado no ponto M6a do Neossolo Flúvico da trilha da Caverna do Alemão reflete sua maior PT e Ma em relação aos demais. Apesar disso, o maior volume de água no solo, expresso pela umidade de saturação do solo (θ_s) ou o volume de água contido no solo quando o potencial matricial é igual a zero (Figura 11) foi encontrado no ponto M13 ($\theta_s = 0,535 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$) no Cambissolo da trilha Itaguaçu, o que é explicado pela textura muito argilosa e pela quantidade de microporos que esse solo apresenta. Valores acima de $0,500 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ também foram encontrados nos pontos M1, de $0,504 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ e M3, de $0,518 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$, ambos amostrados no Cambissolo argilo-siltoso da trilha da Caverna Claraboia.

Figura 11 - Curvas de retenção de água no solo, expressa pela relação entre o conteúdo volumétrico de água (θ , $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$) e o logaritmo da tensão de água no solo (Ψ , KPa), nos pontos de amostragem nas trilhas da Caverna Claraboia (A), Cachoeira do Alemão (B), Cachoeira Paraíso do Cerrado (C) e Trilha Itaguaçu (D).



Elaboração: Das autoras (2020)

Nos demais pontos de amostragem o conteúdo volumétrico de água no solo foi inferior a 50%, sendo o ponto M14 do Neossolo Litólico da trilha Itaguaçu o que apresentou menor valor ($\theta_s = 0,426 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$). Os Cambissolos apresentaram um valor médio de $\theta_s = 0,504 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$, enquanto os Neossolos mostram um valor médio de θ_s menor, de $0,470 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$. Os valores de θ_s dos Neossolos da APANRV são semelhantes aos obtidos por Silva *et al.* (2006) para Neossolos Quartzarênicos, que encontraram valores médios de θ_s variando de 0,444 a 0,462 $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$.

Comparando-se a porosidade total calculada (PT) ilustrada na Figura 10 com a determinada (θ_s) (Figura 11), percebe-se que para alguns solos o volume total de poros calculado e determinado não é o mesmo. A diferença entre a PT e a θ_s indica que uma porção de poros se encontra bloqueada e que a água não conseguirá acessar 100% dos poros do solo. Nesse sentido, o ponto M6a foi o que apresentou maior quantidade de poros bloqueados (10,3%), observando-se uma variação de 1,2 a 4,3% de poros bloqueados entre os demais pontos de amostragem nos solos das trilhas avaliadas.

A formação de poros bloqueados no solo pode ser explicada por diferentes processos, como o entupimento de poros causado pelo acúmulo de partículas finas, em especial de argila dispersa, ao longo do perfil de solo, ou devido à posição do perfil na paisagem, pois este pode estar sujeito a processos de deposição de sedimentos, transportados de áreas a montante desse perfil na paisagem devido à erosão hídrica, seja esta natural ou acelerada por ação antrópica. O uso e manejo do solo e das culturas para produção agropecuária e florestal, bem como o tráfego de pessoas e veículos em estradas não pavimentadas e em trilhas de acesso à cavernas e cachoeiras como as estudadas no presente trabalho, podem não apenas acelerar processos erosivos, mas também causar a compactação do solo e o entupimento de poros no solo (ASSIS JUNIOR *et al.*, 2016; RODRIGUES *et al.*, 2011). A compactação do solo causada por ação antrópica em trilhas de acesso a cachoeiras, cavernas e outros locais de visitação, vem sendo objeto de estudo por diversos pesquisadores nos últimos anos (SENA *et al.*, 2014; RANGEL & GUERRA, 2018; ROCHA *et al.*, 2018; FONSECA FILHO *et al.*, 2019).

As curvas de retenção de água mostradas na Figura 11 refletem as diferenças de textura e arranjo poroso dos diversos pontos de amostragem dos solos nas trilhas. Os reflexos da textura na retenção de água são evidenciados pelas curvas de retenção de água do Cambissolo Háplico muito argiloso e do Neossolo Litólico arenoso presentes na trilha Itaguaçu. Percebe-se que quanto maior a quantidade de argila um solo possuir, maior será a microporosidade deste solo e, portanto, maior será sua capacidade de armazenamento de água em relação a outros solos

com menor quantidade de fração fina em sua constituição granulométrica. A macroporosidade é importante para rápida infiltração e redistribuição de água e gases nos solos, mas é a microporosidade que garantirá o armazenamento de água no solo.

CONCLUSÕES

Nas trilhas da APANRV predominam Cambissolos, Neossolos Litólicos e Neossolos Quartzarênicos, solos com expressiva suscetibilidade à erosão, condicionada pela textura, profundidade e/ou localização em encostas íngremes.

A avaliação de atributos físicos como porosidade, densidade do solo e resistência à penetração do solo permitiu inferir sobre a permeabilidade dos solos da APANRV à água. Os solos com baixa macroporosidade e elevada resistência à penetração apresentam infiltração comprometida sendo, portanto, propensos à formação de enxurrada durante eventos chuvosos e intensas perdas por erosão hídrica. Nos solos arenosos, embora a infiltração da água no período chuvoso possa vir a ser mais rápida em relação aos solos com textura mais fina, no período seco apresentarão maior restrição hídrica ao desenvolvimento das plantas.

A presença de vegetação é importante para melhorar a relação entre macro e microporos dos solos e promover infiltração equilibrada de água no solo, evitando ou pelo menos, reduzindo a formação de enxurrada e assegurando que solos facilmente erodíveis da APANRV sejam mantidos protegidos.

O uso dos solos da APANRV, seja turístico ou agrícola, requer a adoção de práticas de manejo conservacionistas para evitar a erosão, onde a perda de solo do local original e a produção de sedimentos posteriormente causarão o assoreamento dos corpos hídricos que compõem os atrativos turísticos - rios, cachoeiras e cavernas. Nas trilhas de acesso aos atrativos turísticos é recomendada a constante verificação da ocorrência de feições erosivas para a rápida intervenção e mitigação dos impactos negativos resultantes.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, ao Sr. Sandro Raphael Borges e à equipe gestora da Unidade de Conservação Área de Proteção Ambiental das Nascentes do Rio Vermelho e ao Pequi Espeleogruppo de Pesquisa e Extensão pelo apoio logístico em campo.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, E. B.; ALEGRI, V.; FUGIE, A.; ZANDONADI, A. R.; COSTA, M. S.; CARVALHO, S. G.; PRADO, A. A.; MIJOLARO, W. Caracterização tecnológica dos sedimentos da Formação Corumbataí, Permiano da Bacia do Paraná, na Folha 4 da Mina do Cruzeiro, Município de Limeira (SP). **Geociências**, Guarulhos, v. 7, n. 6. p. 61-68, dez. 2002.
- ANDRADE, R. S.; STONE, L. F.; GODOY, S. G. Estimativa da a resistência do solo à penetração baseada no índice S e no estresse efetivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 9, set. 2013.
- ASSIS JUNIOR, R. N.; MOTA, J. A.; FREIRE, A. G.; ALENCAR, T. L. Pore network of an Inceptisol under different uses and relativized S-index as an indicator of soil physical quality. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1575-1583, set. 2016.
- BARROS, L. R.; CORRECHEL, V.; RIBON, A. A.; ARRUDA, E. M. Distribuição espacial e temporal da resistência à penetração de um Latossolo Vermelho sob sistema plantio direto escarificado. In: AGUILERA, J. G.; ZUFFO, A. M. (ed.). **Ciências Agrárias: Campo promissor em pesquisa 5**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019. p. 83-93.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 6 ed. São Paulo: Ícone, 2008. 355 p.
- BEUTLER, A. N.; SILVA, M. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos Cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 167-177, jul./set. 2001.
- BITTAR, I. B.; FERREIRA, A. S.; CORREA, G. F. Influência da textura do solo na atividade microbiana do carbono de serrapilheira de sítios do bioma Cerrado sob condições de incubação. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 6, p. 1952-1960, nov./dez. 2013.
- CASTRO, W. J.; CASTRO, M. L.; LIMA, J. O.; OLIVEIRA, L. C.; RODRIGUES, C.; FIGUEIREDO, C. C. Erodibilidade de solos do Cerrado goiano. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, Maringá, v. 4, n. 2, p. 305-320, maio/ago. 2011.
- COLE, D. N.; LANDRES, P. B. Indirect effects of recreation on wildlife. In: SMITH D.S.; HELLMUND, P.C (ed.). **Ecology of greenways: design and function of linear conservation areas**. Minneapolis: University of Minnesota Press, 1993. p. 105-122.
- COLE, D. N.; LANDRES, P. B. Indirect effects of recreation on wildlife. In: KNIGHT, R. L.; GUTZWILLER, K. J. (ed.). **Wildlife and recreationists: coexistence through management and research**. Washington: Island Press, 1995. p. 183-202.
- DARDENNE, M. A. Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA 30, 1978, Recife. **Anais [...]**. Recife: Sociedade Brasileira de Geologia - SBG, 1978. p. 597-610.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análises de solos**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa do Solo, 1997. 212 p.

FAO. **Soil erosion: the greatest challenge to sustainable soil management**. Rome: FAO/ONU, 2019. 100 p.

FERREIRA, A. C.; FIGUEIREDO, M. A.; SALVIO, G. M.; FERNANDES, B. H.; ROCHA, L. C. Estudos Ecológicos Aplicados ao Manejo da Trilha das Macaúbas na Floresta Nacional de Ritópolis – Minas Gerais. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte. v. 26, n. 47, p. 714-736, dez. 2016.

FIGUEIREDO, M. A.; BRITO, I. A.; TAKEUCHI, R. C.; ALMEIDA-ANDRADE, M.; ROCHA, C. V. Compactação do solo como indicador pedogeomorfológico para erosão em trilhas de unidades de conservação: estudo de caso no Parque Nacional da Serra do Cipó, MG. **Revista Geografia**, Recife, v. 27, n. 3, p. 236-247, set. 2010a.

FIGUEIREDO, M. A.; BRITO, I. A.; SANTANA W. A.; ROCHA, C. V. Compactação do solo em trilhas de Unidades de Conservação. **Mercator**, Fortaleza, v. 9, n. 19, p. 165–174, mai./ago. 2010b.

FONSECA FILHO, R. E.; VARAJÃO, A. C.; CASTRO, P. A. Compactação e erosão de trilhas geoturísticas de parques do quadrilátero ferrífero e da serra do espinhaço meridional. **Revista Brasileira de Geomorfologia (Online)**, São Paulo, v. 20, n. 4, p.825-839, out./dez. 2019.

FURTADO, M. N. **Estimativa da erosão laminar e caracterização da Bacia do Rio Correntes (GO) por meio de geoprocessamento**. 2019. 92 f. Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Florestal) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

GOULART, A. G.; BERNANDO, C. S.; SANTOS, G. R.; FARIA, K. S. Efeitos da fragilidade intrínseca dos solos na Área de Proteção Ambiental Nascentes do Rio Vermelho (GO). In: PINHEIRO, L. S.; GORAYEB, A. (org). **Geografia Física e as Mudanças Globais**. Fortaleza: Editora UFC, 2019.

GOULART, M. C.; CALLISTO, M. Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. **Revista da FAPAM**, Pará de Minas, v. 2, n. 1, 2003.

HAMMITT, W. E.; COLE, D. N. **Wildland recreation: ecology and management**. 2. ed. New York John Wiley & Sons, 1998. 361 p.

IMB. Instituto Mauro Borges. (2020). **Perfil dos Municípios Goianos**. 2020. Disponível em: <https://www.imb.go.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=91:estatistica-s-municipais-series-historicas&catid=30&Itemid=219>. Acesso em: 10 fev. 2021.

LACERDA FILHO, J. V. de.; REZENDE, A.; SILVA, A. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Geologia e Recursos Minerais do Estado de Goiás e Distrito Federal: 1:500.000**. Goiânia: CPRM, 1999.

LEPSCH, I. F. **19 Lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 456 p.

LIMA, V. P.; MAGALHÃES, C. S.; OLIVEIRA, G. C.; LIMA, J. M. Structural quality of soils cultivated with coffee and pasture in an environmental protection area. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 709-716, jun. 2010.

MANNIGEL, A. R.; CARVALHO, M. P.; MORETI, P.; MEDEIROS, L. R. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002.

MEDEIROS, L.C.; MEDEIROS, B.V.V.; SOBRINHO, F.E.; GURGEL, M.T. Caracterização físico-química de um Neossolo Litólico na região Seridó do RN. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, Patos, v. 9, n. 4, p. 01 - 07, out./dez, 2013.

MOLIN, J. P.; DIAS, C. T. S.; CARBONERA, L. Estudos com penetrometria: Novos equipamentos e amostragem correta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 5, p. 584-590, mai. 2012.

MORAES, M. T.; SILVA, V. R.; ZWIRTES, A. L.; CARLESSO, R. Use of penetrometers in agriculture: a review. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 1, p. 179-193, jan./fev. 2014.

NESPOULOUS, J.; MERINO-MARTÍN, L.; MONNIER, Y.; BOUCHET, D.C., RAMEL, M.; DOMBEY, R.; VIENNOIS, G.; MAO, Z.; ZHANG, J.; CAO, K.; LE BISSONNAIS, Y.; SIDLE, R. C.; STOKES, A. Tropical forest structure and understorey determine subsurface flow through biopores formed by plant roots. **Catena**, Amsterdam, v. 181, p. 104061, out. 2019.

OLIVEIRA, P. S.; WENDLAND, E.; NEARING, M. A. Rainfall erosivity in Brazil: A review. **Catena**, Amsterdam, v. 100 p. 139-147, jan. 2012.

POLIDORO, J. C.; FREITAS, P. L.; HERNANI, L. C.; ANJOS, L. C.; RODRIGUES, R. R.; CESÁRIO, F. V.; ANDRADE, A. G.; RIBEIRO, J. L. Potential impact of plans and policies based on the principles of conservation agriculture on the control of soil erosion in Brazil. **Land Degradation & Development**, v. 32, n. 12, p. 3457-3468, jul. 2021.

RANGEL, L. A.; GUERRA, A. T. Caracterização de atributos do solo de trilhas ecoturísticas em unidades de conservação do município de Paraty (RJ). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Curitiba, v. 19, n. 1, p. 17-31, jan./mar. 2018.

RODRIGUES, S.; SILVA, A. P.; GIAROLA, N. B.; ROSA, J. A. Permeabilidade ao ar em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 105-114, fev. 2011.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. T.; ANJOS, L. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; RIZZATO, M.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C., OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. C. **Manual de descrição e coleta de solos no campo**. 5 ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 92 p.

SENA, I. S.; TEIXEIRA, H. W.; FIGUEIREDO, M. A.; ROCHA, L. C. Degradação dos solos ao longo de uma trilha de destino a atrativos do monumento geoturístico Serra de São José, Tiradentes, Minas Gerais, Brasil. **Geonomos**, Belo Horizonte, v. 22, n. 2, p. 70-76, dez. 2014.

SILVA, E. M.; LIMA, J. W.; AZEVEDO, J. A.; RODRIGUES, L. P. Valores de tensão na determinação da curva de retenção de água de solos do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 2, p. 323-330, fev. 2006.

STOLF, R.; MURAKAMI, J. H.; BRUGNARO, C.; SILVA, L. G.; SILVA, L. F.; MARGARIDO, L. C. Penetrômetro de impacto Stolf - programa computacional de dados em EXCEL-VBA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 3, p. 774-782, jun. 2014.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. S. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 795-801, dez. 2002.

WATANABE, S. H.; TORMENA, C. A.; ARAUJO, M. A.; GONÇALVES, A. C. A.; SILVA, A. P.; PINTRO, J. C.; COSTA, A. S.; VIDIGAL FILHO, P. S. Resistência do solo à penetração e porosidade de aeração de um Latossolo Vermelho distrófico sob plantio direto por dois. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 22, p. 1055-1060, mai. 2000.