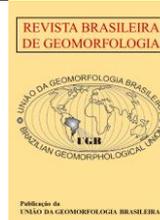




<https://rbgeomorfologia.org.br/>
ISSN 2236-5664



Artigo de Pesquisa

Abordagens para identificação e quantificação de manchas arenosas no noroeste do Paraná

Sandy soil spots in northwestern Paraná: approaches for identification and quantification

Leonardo José Cordeiro Santos ¹, José Guilherme de Oliveira ², Fabio Marcelo Breunig ³, Márcia Regina Calegari ⁴, Elias Fernando Berra ⁵ e Jonez Fidalski ⁶

¹ Universidade Federal do Paraná, Departamento de Geografia, Curitiba, Brasil. santos@ufpr.br.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1165-6382>

² Universidade Federal do Paraná, Departamento de Geografia, Curitiba, Brasil. joseguilhermegeo@ufpr.br.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7504-2913>

³ Universidade Federal do Paraná, Departamento de Geografia, Curitiba, Brasil. fabiobreunig@ufpr.br.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0405-9603>

⁴ Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Colegiado de Geografia, Marechal Cândido Rondon, Brasil.

marcia.calegari@unioeste.br.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2146-7748>

⁵ Universidade Federal do Paraná, Departamento de Geografia, Curitiba, Brasil. eliasberra@ufpr.br.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0220-5048>

⁶ Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná - IAPAR-EMATER, Área de Solos, Paranavaí, Brasil. fidalski@iapar.br.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3106-0175>

Recebido: 12/09/2024; Aceito: 29/10/2024; Publicado: 11/11/2024

Resumo: O predomínio de solos de textura média na região Noroeste do estado do Paraná, associada a retirada da vegetação natural, favoreceu o desenvolvimento na superfície de manchas de areia branca sem agregação. Essas manchas se encontram associadas aos diferentes tipos de uso da terra existentes na região e ao processo de transformação lateral dos solos. Por constituírem material sem agregação, podem ser facilmente transportados pelo vento e pela água e depositados nos corpos hídricos, causando severos impactos ambientais. Assim, o objetivo do presente trabalho foi mapear e caracterizar as áreas com a ocorrência de manchas arenosas na região noroeste do Paraná. O modelo utilizado e validado com informações de campo e laboratório, permitiu identificar as superfícies com manchas de areia branca presentes na região de estudo e estimar o seu percentual em distintas classes. Após a filtragem das amostras com cobertura vegetal no período de cálculo do produto, foi obtido um R^2 de 0,78. A retirada da vegetação natural contribuiu para o surgimento e desenvolvimento das manchas arenosas e das erosões na região noroeste do Paraná.

Palavras-chave: Arenização; Manchas Arenosas, Processos pedogenéticos, Imagens de satélite, Erosão.

Abstract: The predominance of sandy soils in the Northwest region of the state of Paraná, associated with the removal of natural vegetation, favored the development of patches of white sand on the surface without any aggregation. These spots are associated with the different types of land use existing in the region and the process of lateral soil transformation. As they constitute material without aggregation, they can be easily transported by wind and water and deposited in water bodies, causing severe environmental impacts. Thus, using thermal infrared satellite images, the objective of the present study was to map, determine the formation process of the spots and estimate the predominant particle size fractions. The model used and validated with field and laboratory information, allowed the identification of surfaces with patches of white sand present in the study region and estimating their percentage in different classes. After filtering the samples with vegetation cover

during the product calculation period, an R^2 of 0.78 was obtained. The removal of natural vegetation has contributed to the formation and expansion of sandy patches and erosion in the northwest region of Paraná.

Keywords: Sandification; Sandy Patches, Pedogenic Processes, Satellite Images, Erosion.

1. Introdução

No noroeste do Paraná os solos são caracterizados pela textura média e arenosa (FIDALSKI; HELBEL JUNIOR, 2020). Apresentam baixa fertilidade natural e alta fragilidade quanto à instalação e desenvolvimento de processos erosivos por escoamento hídrico superficial, tanto concentrado quanto difuso (EMBRAPA, 2018; NÓBREGA et al., 2023). As perdas de solo e água nessa região são crescentes quando comparadas a pastagem, a cana de açúcar e a mandioca, que perdem anualmente, respectivamente, 2,2 t ha⁻¹ e 27 mm; 6,5 t ha⁻¹ e 70 mm; 37,0 t ha⁻¹ e 196 mm (MERTEN; ARAÚJO; BARBOSA, 2016). Consequentemente, é comum a ocorrência de manchas de areia solta em superfície nos segmentos de baixa vertente e nas cabeceiras de drenagem (*hollows*). Essas manchas, são encontradas também em outras posições da paisagem e relacionadas a distintos usos da terra. Apesar de serem facilmente identificadas no campo, elas não aparecem individualizadas nos mapas de solo disponíveis para a região.

A retirada da Floresta Estacional Semidecidual, vegetação natural da região, acompanhou o processo de ocupação atingindo até as áreas de nascentes e as margens dos cursos d'água (MAACK, 1968). Essa ação abriu novas áreas para a lavoura de café, substituída posteriormente pela pastagem (FIDALSKI, 1997a) e recentemente, pelo cultivo da cana-de-açúcar, para a produção de álcool, e pelo cultivo da mandioca (PAIVA; NÓBREGA, 2010). Os reflexos desses usos e manejos afetaram, ao longo do tempo, os atributos físicos e químicos dos solos, tais como diminuição da retenção e disponibilidade de água (FIDALSKI; HELBEL JUNIOR, 2020). Além disso, potencializou o surgimento de processos erosivos lineares. Estudo realizado por Mangueira (2014) identificou cerca de 918 feições erosivas distribuídas na região noroeste. Segundo a autora, as propriedades morfológicas dos solos, principalmente a textura, influenciam diretamente no surgimento das erosões, assim como na forma do manejo e da ocupação da terra.

A substituição da vegetação natural pelo uso agropecuário, afetou negativamente a adição de matéria orgânica na superfície do solo (FIDALSKI, 1997b). Consequentemente prejudicou a agregação nos horizontes superficiais (FIDALSKI et al., 2021), facilitando o desmantelamento da estrutura dos solos nesses horizontes, transformando-o em manchas de areia sem agregação.

As manchas de areia solta se encontram associadas a diferentes tipos de uso e manejo da terra na região noroeste do Paraná, sendo comuns em áreas de pastagem degradadas, com forte pisoteio do gado e áreas de agricultura com prática de revolvimento do solo para o plantio, dentre outras formas de uso, levando a perda da matéria orgânica e das partículas finas (silte e argila) do horizonte A (OLIVEIRA; SANTOS; CALEGARI, 2020; SANTOS; OLIVEIRA, 2020).

Estudos desenvolvidos na região, revelaram que processos de formação e de espessamento de horizonte arenoso podem ocorrer em condições naturais, ao longo das vertentes, a partir de um processo remontante de transformação lateral do horizonte Bw dos Latossolos em horizonte Bt dos Argissolos, associado a mecanismos de perda e de transferência de argila (CUNHA; NÓBREGA; CASTRO, 2008). Por constituírem materiais transportáveis pelo vento e pela água, essas areias podem comprometer os cursos d'água e as áreas à jusante nas vertentes. Por isso, torna-se necessário sua correta identificação, para que práticas de manejo e conservação do solo adequadas sejam adotadas, visando mitigar os impactos no ambiente e aumentar a capacidade produtiva das terras (NANNI; DEMATTÊ; FIORIO, 2004).

Os levantamentos pedológicos representam a principal forma de se obter informações dos atributos dos solos, por isso é constante a busca por procedimentos capazes de identificar e mapear as classes de solo (NANNI; DEMATTÊ; FIORIO, 2004; NANNI; DEMATTÊ, 2006). Considerando a problemática dos solos arenosos e sua fragilidade ambiental, é de grande importância entender sua distribuição espacial na paisagem. Nesse contexto, métodos de detecção complementares aos tradicionais podem incorporar técnicas de sensoriamento remoto, com base no uso de espectros de reflectância e imagens de satélite (DEMATTÊ et al., 2018). Por consequência, deve-se considerar o desafio de separar alvos de alta reflectância no espectro ótico (ex. visível e infravermelho próximo e de ondas curtas). Neste contexto, as manchas de areia podem ser facilmente identificadas nas imagens de satélite, entretanto, com alto brilho e saturação, esses solos mais claros podem ser confundidos com outros alvos, como a

vegetação seca (não fotossinteticamente ativa - NFA, ex. palha, resíduos). Alternativamente, imagens do infravermelho termal podem auxiliar a diminuir essa confusão espectral e identificar áreas com maior tendência de apresentar solos arenosos (SALISBURY; D'ARIA, 1992; CHEN et al., 2021).

Considerando a amplitude do uso das técnicas de plantio direto na agricultura brasileira, associada ao cultivo de plantas de cobertura na entressafra e palhada da pós-colheita, a identificação dos solos arenosos deve recorrer a outras faixas espectrais, devido à alta semelhança com a NFA (DAUGHTRY; HUNT; MCMURTREY, 2004; BREUNIG; GALVÃO; FORMAGGIO, 2008). Em função das feições de baixa emissividade da sílica em regiões espectrais do infravermelho termal (feições de *reststrahlen*) (SALISBURY; D'ARIA, 1992; SALISBURY et al., 1992), os solos arenosos podem ser detectados e caracterizados (CHEN et al., 2021). Nesse sentido, alguns índices foram propostos para a modelagem da fração areia dos solos, utilizando como entrada a razão de bandas do infravermelho termal (BREUNIG; GALVÃO; FORMAGGIO, 2008; BREUNIG et al., 2009) ou o *sand differential emissivity index* (SDEI) (CHEN et al., 2021). Com a disponibilidade de produtos de emissividade dos *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER), abre-se a possibilidade de explorar as feições disponíveis nessa faixa espectral. O produto *ASTER Global Emissivity Database* (GED) é gerado a partir da emissividade média de um pixel, considerando o período de 2000 a 2008 (HULLEY et al., 2015; HULLEY; HOOK, 2015). Assim, áreas de solo arenoso tendem a apresentar feições de *reststrahlen*, permitindo sua identificação. Dada a escala de análise envolvida nos produtos de sensoriamento remoto, as atividades de campo e as inspeções detalhadas do solo são fundamentais para complementar e validar as análises.

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi mapear e caracterizar as áreas com a ocorrência de manchas arenosas na região noroeste do Paraná, com o uso combinado do sensoriamento remoto termal, micromorfologia do solo e atividade de campo. Neste sentido, estratégias que fazem uso de imagens de satélite, coleta de amostras e análise de perfis de solo em campo foram às referências utilizadas para as avaliações dos parâmetros do solo, enquanto a micromorfologia permitiu demonstrar os processos de subtração de argila.

2. Área de Estudo

Á área de estudo (Figura 1) é a região noroeste do estado do Paraná, com cerca de 24.488 Km² e 61 municípios. Se encontra situada na porção sul da bacia sedimentar do Paraná na Supersequência Bauru (FERNANDEZ; TCACENCO-MANZANO, 2023), que reuni parte dos estados de São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Minas Gerais, Goiás e parte do nordeste paraguaio com uma área de aproximadamente 370.000 Km². A geologia é composta por rochas sedimentares da bacia do Bauru, denominadas Grupo Caiuá (FERNANDES; COUTO; SANTOS, 2012). Esse Grupo é subdividido nas Formações Goio-Erê (zona de depósitos eólicos periféricos), Rio Paraná (zona central de *sand sea*) e Santo Anastácio (planícies de lençóis de areia) (FERNANDES; COIMBRA, 1994).

Inserida no Terceiro Planalto Paranaense, a área de estudo possui relevo, em sua maior parte, suave ondulado (MAACK, 1968). O relevo regional é uniforme e monótono, com a existência de planaltos inclinados em direção ao vale do rio Paraná. A altitude varia de 600 metros, nas proximidades ao contato com a formação Serra Geral, a 300 metros nas margens dos rios Paranapanema e Paraná (NAKASHIMA, 1999). São visualizadas as seguintes unidades morfoesculturais (SANTOS et al. 2006): Planalto de Maringá; Planalto de Campo Mourão; Planalto de Paranavaí; Planalto de Umuarama e Planícies Fluviais.

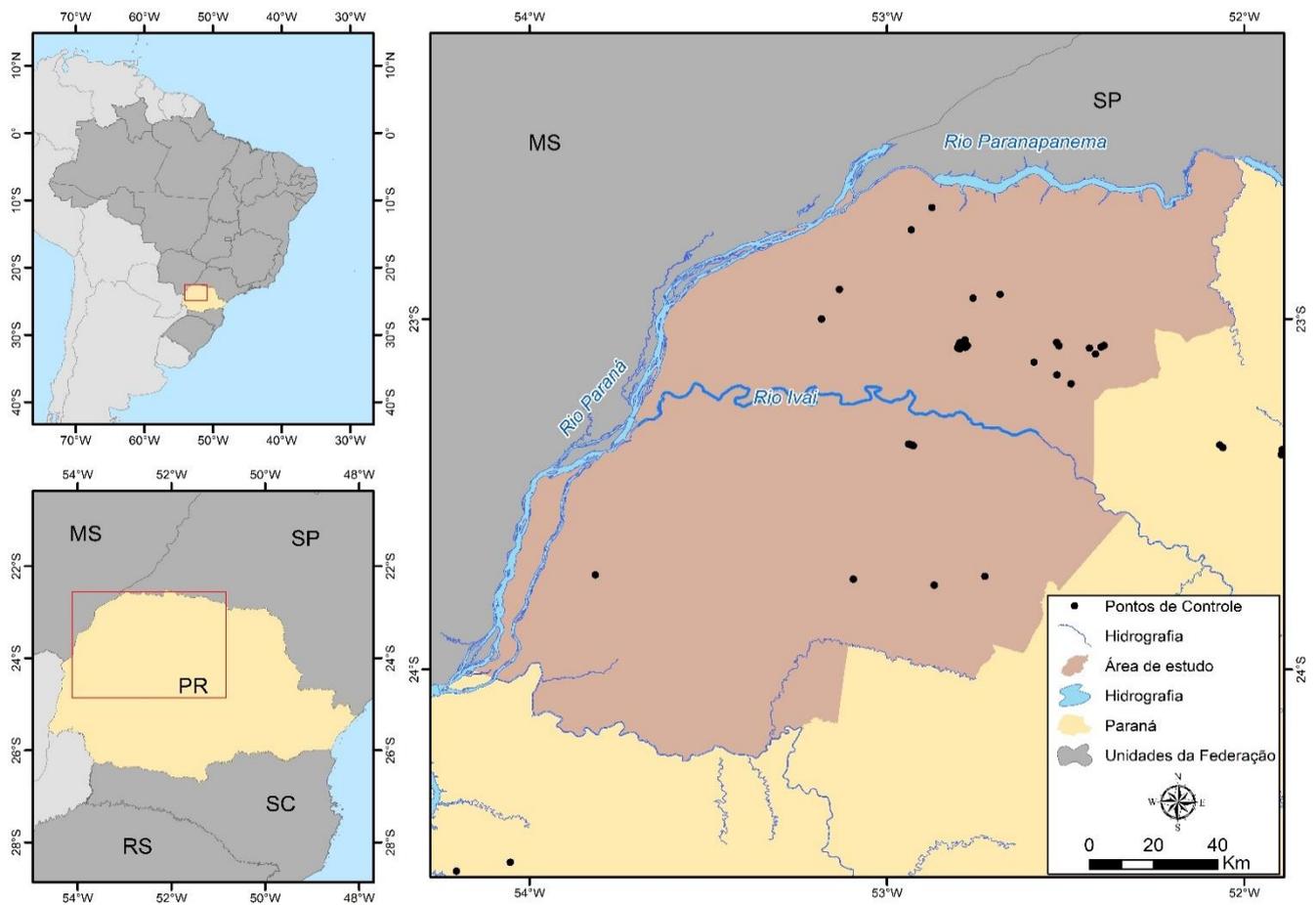


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo, no noroeste do estado do Paraná (PR), no sul do Brasil. Base vetorial adaptada de IBGE (2022).

Destaca-se a ocorrência de sistemas pedológicos compostos, predominantemente, por Latossolos Vermelhos, Argissolos Vermelho e Vermelho-Amarelo, com textura média, nos segmentos de topo e média vertente e Neossolos Quartzarênicos, textura arenosa, nos segmentos de baixa vertente e fundo de vales (CALEGARI, 2000; CUNHA; CASTRO; SALOMÃO, 1999). Devido a seus atributos morfológicos, os Neossolos Quartzarênicos normalmente possuem restrições para uso e necessitam de grande aporte de corretivos e fertilizantes para se tornarem produtivos, o que geralmente os tornam inviáveis para aproveitamento econômico (MAIA; MARMOS, 2010). Esses solos apresentam fragilidade natural ao desenvolvimento de processos erosivos lineares, com ocorrência de grandes voçorocas em áreas rurais e periurbanas. O uso intensivo desses solos deve ser evitado e, quando utilizados, o manejo deve considerar seu grau elevado de fragilidade intrínseca (NETO et al. 2023).

O Clima predominante é temperado úmido com verão quente, Cfa de acordo com a classificação de Köppen e Geiger (KÖPPEN, 1936; GEIGER, 1954; ALVARES et al., 2013). Apresenta médias anuais de chuva entre 1250 e 1800 mm com concentrações maiores nos meses de verão (NITSCHKE et al. 2019). As temperaturas médias anuais variam entre 18 e 25 °C (MANGUEIRA, 2017; KOTTEK et al., 2006; ALVARES et al., 2013).

A vegetação natural predominante era a Floresta Estacional Semidecidual (RODERJAN et al., 2002). Todavia, segundo estes mesmos autores, as formações florestais originais passaram por um intenso processo de transformação, sendo modificada progressivamente em terras utilizadas para atividades agropecuárias.

A região noroeste do Paraná passou por um intenso processo de ocupação a partir da década de 1950. Esse processo, movido principalmente pela atividade cafeeira substituiu quase que em sua totalidade as florestas por lavoura de café (RODERJAN et al., 2002; PAIVA; NÓBREGA, 2010; KOHLHEPP, 2014). A cafeicultura foi substituída posteriormente pela pastagem (FIDALSKI, 1997a) e recentemente, a cana-de-açúcar, para a produção de álcool, e o cultivo da mandioca (PAIVA; NÓBREGA, 2010) caracterizam o uso da terra na região. Especificamente, e dentro do intervalo temporal dos dados de sensoriamento remoto utilizado, utilizando dados da plataforma MAPBIOMAS, a classe pastagem passou de 18445,17 Km² em 2000 para 13833,68 Km² em 2008, já a

classe cana-de-açúcar passou de 609,21 Km² em 2000 para 3359,29 Km² em 2008 (SOUZA et al. 2020). Atualmente, os remanescentes florestais estão condicionados a algumas unidades de conservação e a planície fluvial do Rio Paraná.

3. Materiais e Métodos

A partir dos objetivos propostos a pesquisa foi organizada em distintas etapas.

3.1 Mapeamento das manchas arenosas e estimativa da fração areia com o uso do Sensoriamento Remoto

As informações do infravermelho termal (TIR) foram extraídas do produto emissividade gerado no contexto do programa *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Emissivity Dataset (GED)* (AG100: *ASTER Global Emissivity Dataset 100-meter V003*). Os dados de emissividade foram produzidos a partir do algoritmo *Temperature Emissivity Separation (TES)*, combinados a correção atmosférica *Water Vapor Scaling (WVS)* que usa informações de perfis atmosféricos do produto MODIS MOD07, dentro do modelo de transferência radiativa MODTRAN 5.2 (HULLEY; HOOK, 2011; HULLEY et al., 2015). Esse produto consiste numa composição média de valores de pixels sem cobertura de nuvens para todos os dados ASTER disponíveis (2000-2008) (HULLEY; HOOK, 2011), integrando áreas de múltiplas cenas e gerando uma emissividade média para distintos alvos no tempo. Vale ressaltar que não existem dados recentes desse produto devido a falha das bandas do infravermelho de ondas curtas (SWIR), utilizada para criar a máscara de nuvens (HULLEY; HOOK, 2015). Contudo, existem iniciativas de lançamento no futuro de novos satélites, que devem incorporar bandas no infravermelho termal (GUO et al., 2023).

Nesse estudo utilizou-se as bandas do TIR, que apresentam feições típicas associadas a solos com predomínio da fração areia, denominadas feições de *reststrahlen* do quartzo (SALSISBURY et al., 1992). Para identificar as áreas com maior tendência de ocorrência de solos arenosos, foi calculado o Índice Normalizado de Areia do Infravermelho Termal (*Normalized Thermal Sandy Index - NTSI*). O NTSI consiste em uma normalização das bandas 10 e 14 (centradas em 8,3 μm e 11,3 μm, respectivamente), dada pela Eq. (1) do ASTER (BREUNIG et al., 2008; BREUNIG et al., 2009).

$$NTSI = \frac{(\varepsilon_{11,3\mu m} - \varepsilon_{8,3\mu m})}{(\varepsilon_{11,3\mu m} + \varepsilon_{8,3\mu m})} \quad (1)$$

3.2 Estimativa da fração areia dos solos - Dados de campo e laboratório

Os dados do índice normalizado foram cruzados com as informações granulométricas da fração areia total do horizonte superficial do solo (profundidade de 20 cm) de 72 perfis de solos publicados em diferentes revistas científicas, dissertações, teses e relatórios técnicos (Figura 1 e Tabela suplementar – Ver material suplementar disponível em DOI: 10.5281/zenodo.13929537). Ao final, elaborou-se um modelo empírico de regressão e aplicável a área do estudo pela função sigmoide logística. Foram computados os parâmetros estatísticos clássicos, como R², R² ajustado, erro médio quadrático, e os níveis de confiança do modelo. Considerando as limitações associadas ao produto ASTER GED (média de várias datas, resolução espacial de 100 metros) e as informações de campo, amostras onde o NTSI apresentou baixos valores (ex. negativos) e alto teor da fração areia, foram desconsideradas da análise porque foram, a priori, associadas a vegetação. A hipótese considera que áreas com alta cobertura de vegetação apresentaram valores muito baixos do índice (NTSI) independente das características da camada superficial do solo (mesmo que exista um solo com alta fração areia, devido a cobertura vegetal a emissividade tende a ser alta e o NTSI baixo). Isso ocorre pela alta emissividade da vegetação em todo espectro do infravermelho termal devido à presença de água nos componentes do dossel. Assim, a vegetação acaba mascarando o solo arenoso abaixo. Desta forma, dos 147 perfis de solo encontrados 75 estavam em ambientes com a presença de vegetação, restando outros 72 perfis de solo para serem utilizados no cruzamento (Tabela Suplementar). Devido à natureza do dado ASTER GED, não foi possível obter imagens ópticas do período 2000-2008, para qualificar o uso da terra, visto que o produto calcula a média de todas as imagens com boa qualidade no período analisado. Destaca-se que

as amostras foram extraídas de solos com baixa (basalto) e alta fração de areia (arenito). Dessa forma, o modelo permite estimar a fração areia na camada superficial para solos derivados das distintas litologias.

Após a estimativa das áreas de maior concentração de areia pelos dois métodos, efetuou-se os cruzamentos dos dados para identificar o grau de concordância com as informações de campo. A validação definitiva (verdade de campo) consistiu em visitas a área do estudo, em várias etapas entre os anos de 2010 e 2024, permitindo o seu bom reconhecimento. Em paralelo, consultas as descrições morfológicas foram realizadas nas publicações utilizadas para obtenção dos dados granulométricos. Para facilitar a análise, foram geradas três classes de ocorrência, diferindo-se em relação ao teor de areia na superfície dos solos: $\leq 50\%$, 50-80%, e $\geq 80\%$ de areia total.

3.3 Interpretação micromorfológica

A análise micromorfológica foi efetivada com base na interpretação de lâminas delgadas coletadas nos horizontes superficiais de um perfil de Argissolo Vermelho-Amarelo, localizado na fazenda experimental da Universidade Estadual de Maringá, município de Cidade Gaúcha/PR (CUNHA, NOBREGA; CASTRO, 2008).

A descrição e obtenção das informações micromorfológicas foram realizadas conforme Stoops; Marcelino and Mees (2010). Para esse trabalho, foram selecionados campos específicos nas lâminas delgadas, visando a caracterização das micro organizações presentes, seguido da tomada de fotos em microscópio petrográfico Zeiss – Axioscope 5, e a elaboração de um modelo evolutivo das micro organizações.

A metodologia aplicada previu o conhecimento e a caracterização das diferentes escalas que se encontram organizados os solos, desde as organizações micromorfológicas até a paisagem, bem como detectar suas inter-relações.

4. Resultados

4.1. Espacialização das manchas de areias na paisagem do noroeste paranaense.

O processo de modelagem e filtragem das amostras de áreas com cobertura vegetal no período de cálculo do produto GED ASTER (entre 2000 e 2008) permitiu obter R^2 de 0,78 ($\pm 15,13$) (Figura 2). As amostras não consideradas estão destacadas em cinza (elipse na Figura 2) e, pelo padrão, refere-se aqueles pontos que ao longo da composição ASTER GED (2000-2008) provavelmente continham vegetação. A linha pontilhada azul indica um limiar empírico estabelecido para identificar áreas cujo NTSI está sendo associado a solos argilosos, pouco argilosos ou mesmo vegetação (área cinza no mapa da Figura 3). Cabe destacar que o modelo apresenta saturação a partir de solos com aproximadamente 80% de areia. Nessa área verifica-se pela banda de confiança do modelo, que o erro tende a ser maior nas estimativas (Figura 2).

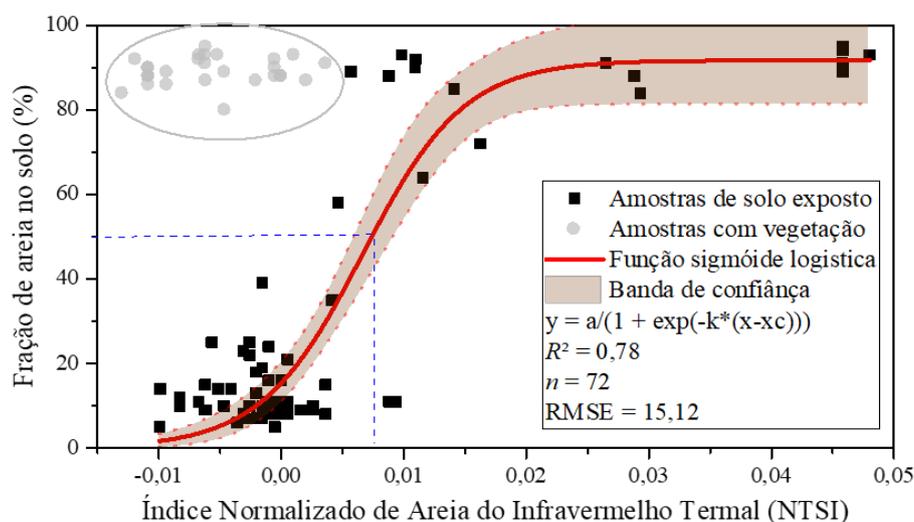


Figura 2. Modelo de estimativa de fração areia em superfície com base no índice normalizado derivado do produto GED-ASTER e dados de campo. Foram utilizadas 72 amostras de campo para a elaboração do modelo. Amostras tipicamente associadas a vegetação foram filtradas. RMSE representa o Root mean square error; n designa o número de amostras.

Com a espacialização do modelo sigmoidal logístico (Figura 2), foi possível obter a distribuição das manchas de areia na área de estudo, de acordo com a variação de areia total (Figura 3).

As áreas com cobertura vegetal ou com menor concentração de areia representaram aproximadamente 90% da área. A classe 50 - 80% representa 7% e a classe com mais de 80% de areia corresponde a aproximadamente 3%. De modo geral, verificou-se uma maior concentração de manchas no centro-norte da área de estudo.

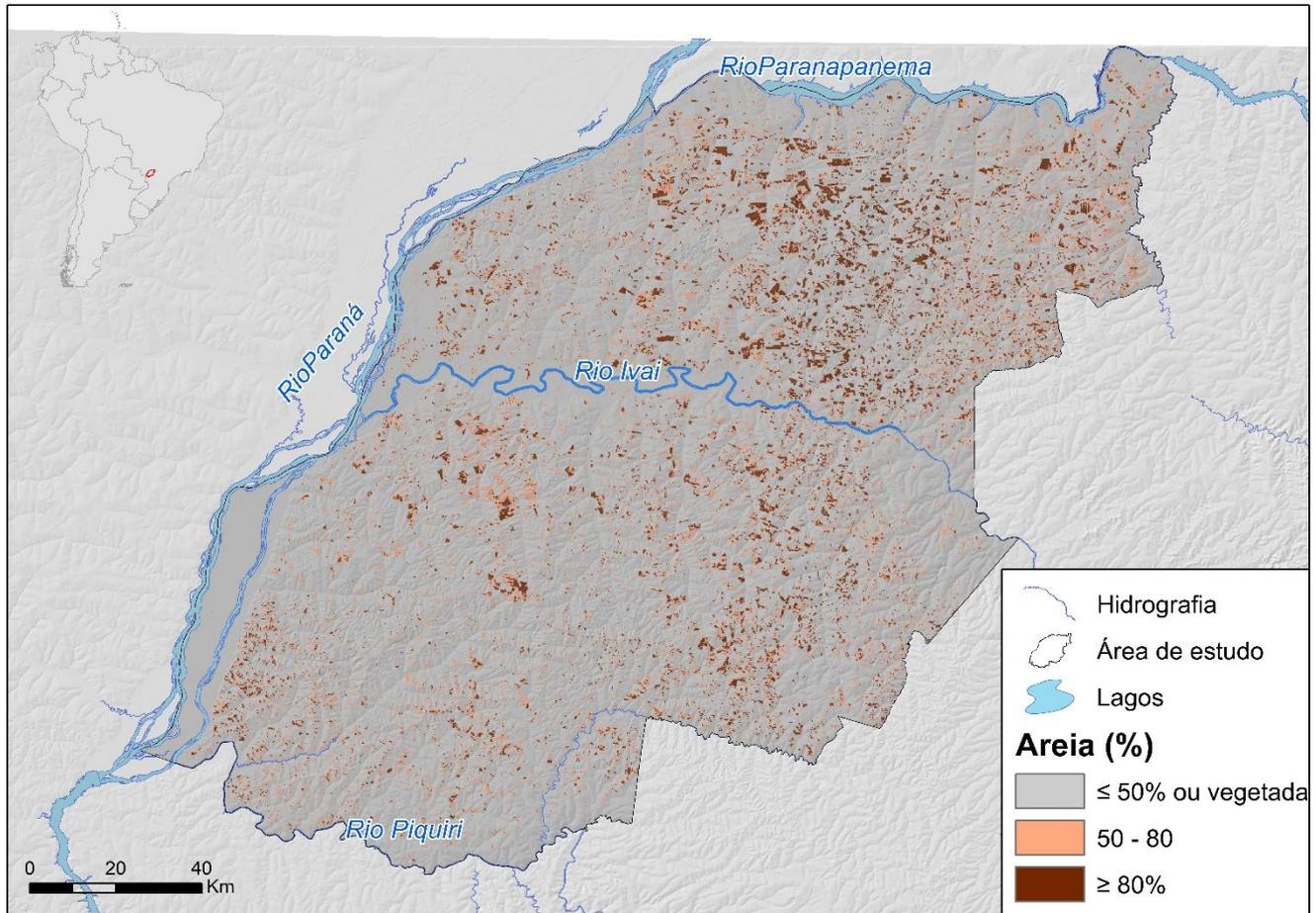


Figura 3. Mapa de distribuição das manchas de areia de acordo com a porcentagem estimada da fração areia em superfície.

Avaliando as classes em detalhe, as áreas estimadas com menor concentração de areia ($\leq 50\%$) não necessariamente apresentam baixos valores dessa fração. Elas parecem estar também relacionadas a alta taxa de cobertura do solo por vegetação verde, principalmente as práticas agrícolas que cobrem o solo. Assim, a alta emissividade da vegetação verde (com maior concentração de água nas folhas) e conseqüentemente os baixos valores de NTSI, mascaram a ocorrência de solos com maior concentração de areia. A resposta espectral de solos argilosos e vegetação/cobertura do solo, de acordo com Salisbury et al. (1992) e Breunig et al (2008) é bastante semelhante no infravermelho termal, devido à alta emissividade da água em toda faixa espectral. Essa especificidade do método explica o predomínio de áreas com menor percentual estimado para a fração areia nas áreas cobertas pela vegetação.

As classes $\geq 80\%$ de areia e 50-80% ocorrem predominantemente nos locais de ocorrência de exposição das manchas arenosas, cuja composição mineral da fração areia apresenta baixa emissividade na banda 10 do ASTER e alta na banda 14, levando a altos valores do NDSI. Essas classes estão relacionadas a diferentes tipos de uso e cobertura da terra encontrados na região como pastagens degradadas, cana-de-açúcar, pousio, preparação para o plantio e pisoteio do gado, entre outras formas de uso que provocaram a retirada da vegetação e conseqüentemente favoreceram o processo de elutrição, levando ao acúmulo relativo da fração areia na superfície (OLIVEIRA; SANTOS; CALEGARI, 2020). Novamente é importante destacar que os produtos ASTER GED referem-se a uma

média de emissividade de vários anos e isso cria dificuldades de associar o tipo de uso e cobertura específico para cada pixel. Contudo, o modelo permite extrair as tendências regionais.

Quando relacionadas as áreas de pousio ou preparadas para o plantio, as áreas dessas classes, apresentam manchas com formas geométricas regulares, acompanhando os limites das propriedades rurais (Figura 4A), quando combinadas com as trilhas e o pisoteio provocado pelo gado as manchas apresentam formas relativamente lineares (Figura 4B). Devido às limitações associadas ao uso de um produto composição, muitas manchas de areia reproduzem o padrão dos talhões, que podem estar associados ao padrão médio de uso da terra da região.

Nos fundos de vales, as manchas estão associadas a presença de relevo constituído de embaciados frequentemente com ocorrência de piping e hidromorfismo (CUNHA; CASTRO; SALOMÃO, 1999). De modo geral, essas manchas configuram área de avanço remontante de processos de perda e remoção de argila dos horizontes superficiais e subsuperficiais (sistemas de transformação lateral), frequente na região de estudo (CUNHA; CASTRO; SALOMÃO, 1999; CALEGARI, 2000; OLIVEIRA; SANTOS; CALEGARI, 2020).

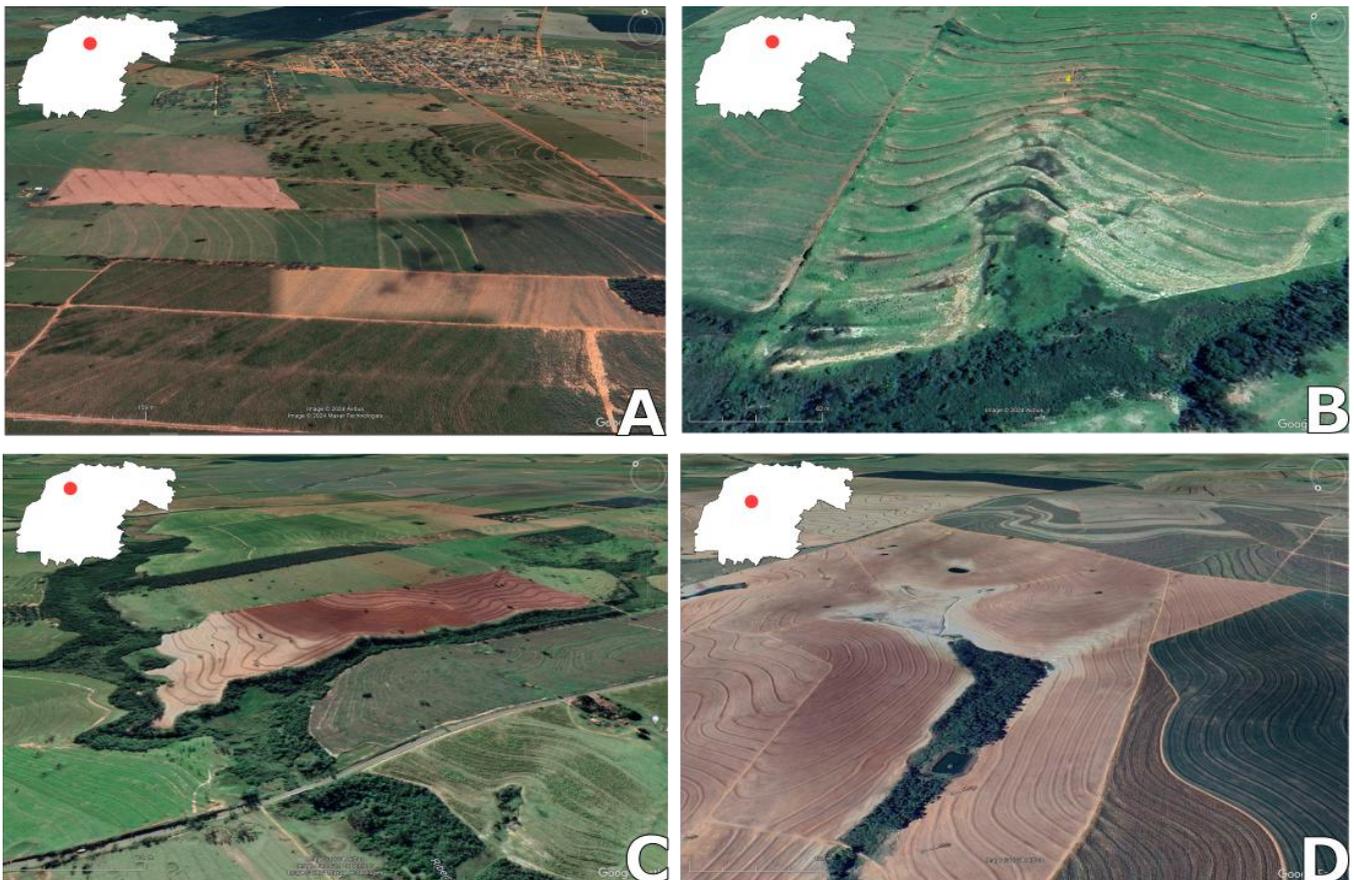


Figura 4. A) Formas geométricas regulares que associadas a áreas preparadas para o plantio; B) Erosões provocadas por trilhas e pisoteio de gado; C) Passagem gradual de solos avermelhados para solos esbranquiçados em fundo de vale; D) Anfiteatros onde ocorre a retirada mecânica das argilas por convergência dos fluxos superficiais da água. Imagens acervo google Earth pro.

Nos segmentos de montante os Latossolos e os Argissolos apresentam diminuição progressiva de argila, vertical e lateralmente, em direção a jusante, formando no setor final das vertentes os Neossolos Quartzarênicos. (CUNHA; CASTRO; SALOMÃO, 1999; OLIVEIRA; SANTOS; CALEGARI, 2020; NÓBREGA et al., 2023) (Figura 4C). Esses solos, quando desprovidos de horizonte superficial, se caracterizam como depósitos de areias sem nenhuma agregação (estrutura de empilhamento). A espessura dos horizontes superficiais arenosos aumenta em direção ao setor inferior das vertentes, refletindo a evolução do sistema de transformação do tipo eluvial-iluvial, frequente na região (CUNHA; CASTRO; SALOMÃO, 1999; BECKAUSER; SILVEIRA, 2020). O processo de perda mecânica das argilas também é observado em pequenos anfiteatros e cabeceiras de drenagem, onde a convergência dos fluxos superficiais da água da chuva provoca a retirada mecânica das argilas (Figura 4D) e a concentração da fração média no solo (SANTOS; OLIVEIRA, 2020).

4.2. Processo de formação das manchas de areia na paisagem

A intrínseca relação entre a história pedogenética do solo e do ambiente na região noroeste se reflete nos seus principais atributos, como a composição granulométrica e a baixa disponibilidade de nutrientes, que constituem herança do material de origem: os arenitos do Grupo Caiuá (MARCOLIN et al., 2023). Por isso, de modo geral os solos na região noroeste do Paraná, predominantemente, apresentam textura variando entre média e arenosa, pertencentes à classe dos Latossolos, Argissolos e Neossolos Quartzarênicos (BHERING, 2007).

O escoamento superficial das águas pluviais é convergente nos anfiteatros, tornando mais eficaz a remoção seletiva das partículas finas (silte e argila) dos horizontes superficiais, promovendo o processo de elutriação (OLIVEIRA; SANTOS; CALEGARI, 2020; SANTOS, OLIVEIRA 2020). Em campo foi observado, por esses autores, que quanto mais entalhado for o vale, a partir da instalação de uma drenagem perene, mais intenso se torna o processo de elutriação e a probabilidade de ocorrências de ravinas e voçorocas. Nos setores da paisagem onde o horizonte A foi depauperado pelo uso agropecuário, é comum a ocorrência dessas manchas em associação à exposição do horizonte E dos Argissolos e do horizonte C dos Neossolos Quartzarênicos.

Embora o processo de transformação lateral dos solos seja atribuído a condições naturais do meio, observa-se que no noroeste paranaense, é mais acelerado nos solos de textura média derivados dos arenitos do Grupo Caiuá, em áreas cuja vegetação natural foi retirada e substituída por pastagem (CALEGARI, 2000), tornando esses solos ainda mais suscetíveis ao desenvolvimento de processos erosivos. O processo de ocupação e intenso desmatamento removeu a proteção natural do solo em relação ao efeito direto da chuva (efeito splash), e afetou drasticamente a incorporação da matéria orgânica no solo, também responsável pela sua agregação.

Os processos de translocação de argila, vertical e lateral, podem ser melhor entendidos quando observada a micromorfologia do solo. A Figura 5 ilustra o arranjo dos constituintes de diferentes horizontes de um perfil de Argissolos Vermelho estudado em uma topossequência no município de Cidade Gaúcha, PR (CUNHA; CASTRO; SALOMÃO, 1999). Observa-se mudança na porosidade e na organização dos componentes do solo à medida que aumenta o teor de areia entre um horizonte Bt, mais argiloso (Figura 5A), horizonte Bt/E (Figura 5B), horizonte E e A (Figura 5C -D). Essa variação na porosidade e na organização dos seus componentes é característica dessa classe de solos na região, que normalmente ocupa o terço médio das vertentes e os setores de ruptura de declive associados as declividades maiores que 15-20% (CALEGARI, 2000).

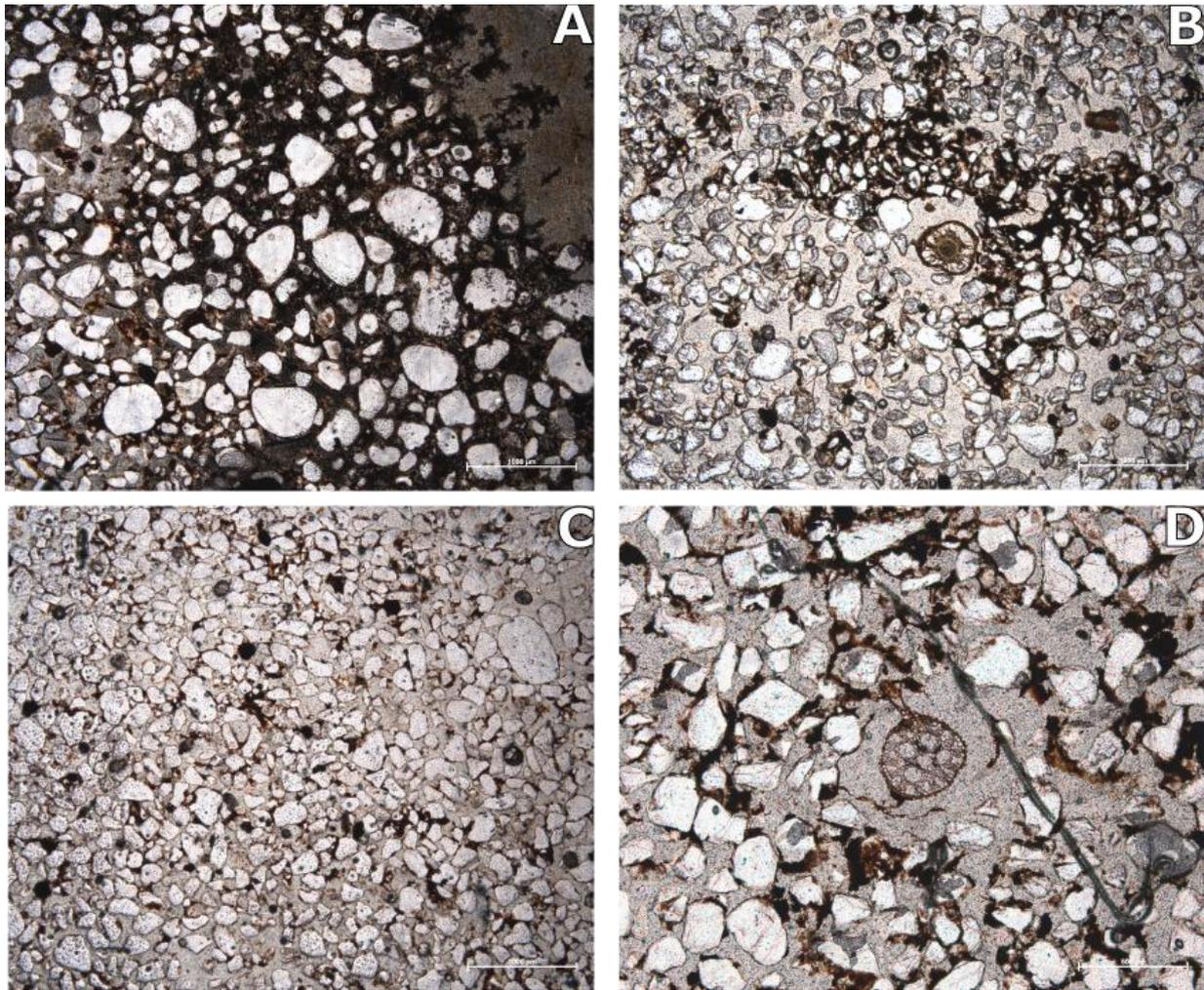


Figura 5. Imagens de microscópio mostrando o arranjo dos constituintes de diferentes horizontes de um perfil de Argissolo Vermelho. A) Horizonte Bt, mais argiloso; B) Horizonte com menor presença de argila, restando apenas em pequenas pontes; C) Horizonte com quase nenhuma argila, restando apenas quartzo; D) Detalhe do horizonte representado no recorte C. (CUNHA; CASTRO; SALOMÃO, 1999)

O modelo interpretativo da micromorfologia do solo (Figura 6), ilustra a evolução dessas microestruturas ao longo do perfil, da base para o topo. Ocorre aumento da fração areia em detrimento da fração argila em direção aos horizontes superficiais, resultando em aumento da porosidade nesses horizontes. No que se refere as microestruturas, nota-se que elas se tornam residuais, associadas a presença de grãos de areia de diferentes dimensões, sem a presença de revestimento argiloso. Esse acúmulo residual de areia é responsável pela formação das manchas de areia observadas em campo na superfície dos solos, comprovando e fortalecendo as interpretações realizadas na escala micromorfológica.

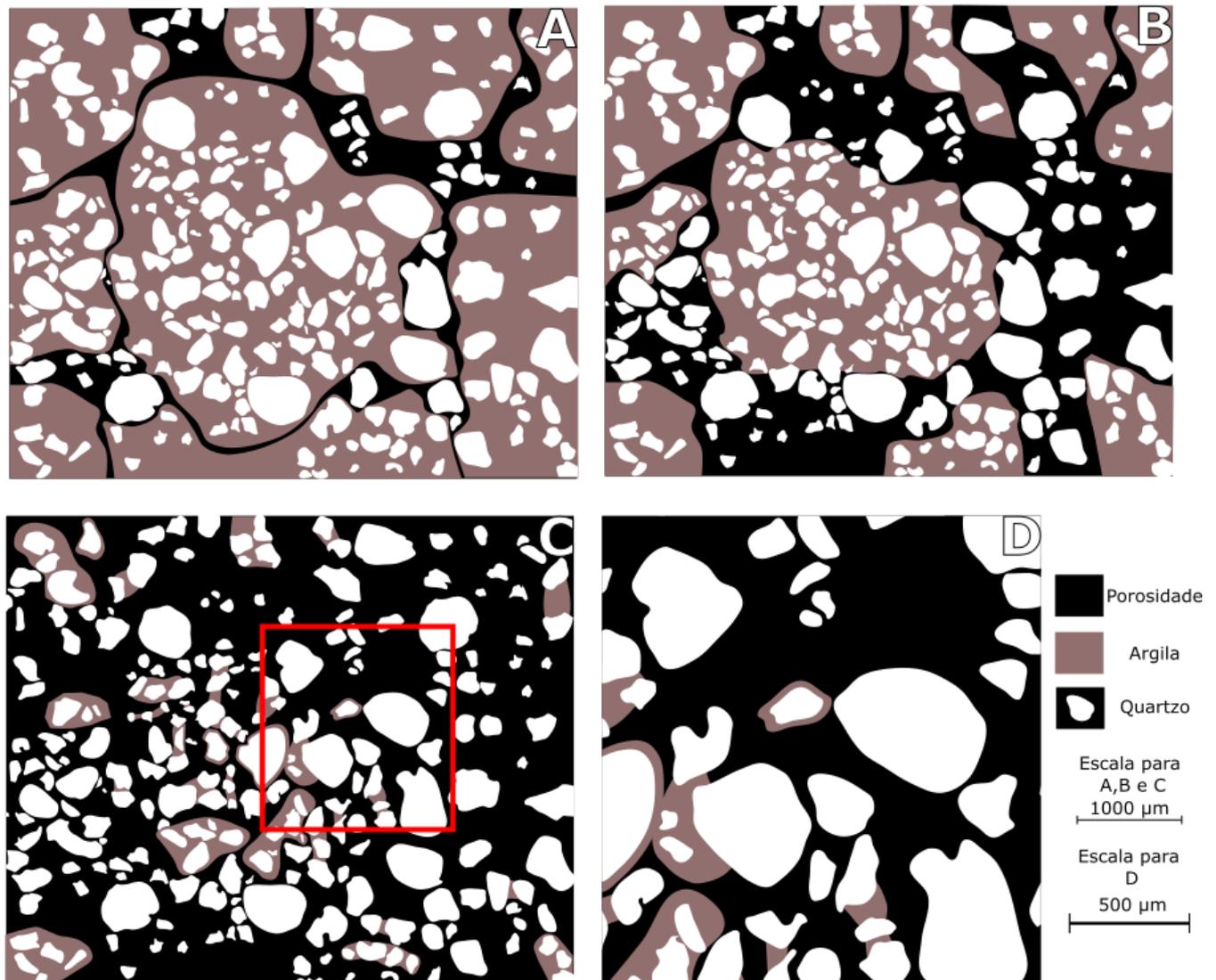


Figura 6. Modelo interpretativo da micromorfologia do solo. A) Matriz argilosa englobando grãos de quartos; B) Matriz argilosa de menor dimensão englobando grãos de quartzo e outros dissociados da argila e dispersos nos poros; C) Grãos de quartzo dispersos nos poros, ligados entre si por pontes de argila ou envolvidos pela argila; D) Detalhamento das distribuições mencionadas na figura C

Na região noroeste o sistema de transformação lateral é o modelo que melhor explica a formação de horizontes A arenosos e a ocorrência de Neossolos Quartzarênicos próximos aos fundos dos vales (NAKASHIMA, 1999; CALEGARI, 2000; CUNHA, NOBREGA; CASTRO, 2008)

Em setores de topo, onde predomina os Latossolos de textura média, os fluxos hídricos tendem a ser verticais. Nos setores de ocorrência dos Argissolos, os fluxos hídricos ocorrem lateralmente e em maior velocidade no topo dos horizontes A, E e Bt e vertical e em menor velocidade nas bases desses horizontes. Isso tende a promover o espessamento do horizonte E e a formação de bolsões arenosos nos fundos de vale, favorecendo a formação e espessamento de Neossolos Quartzarênicos (NAKASHIMA, 1999; CALEGARI, 2000; CUNHA, NOBREGA; CASTRO, 2008; OLIVEIRA; SANTOS; CALEGARI, 2020; OLIVEIRA; SANTOS, 2020).

A Figura 7 ilustra uma proposta de sintetizar esse processo de transformação lateral, a partir de Oliveira e Santos (2020), indicando onde há o predomínio dos processos de elutriação, iluviação e eluviação nas vertentes. Observações de campo mostraram que a cerosidade encontrada entre os agregados do horizonte B textural (Bt), é insuficiente para explicar a sua formação. Desta maneira, a formação deste horizonte se daria pela acumulação relativa de argila em relação a sua perda lateral, diretamente para a drenagem. Esse modelo destaca que o maior espessamento das areias no fundo dos vales pode estar associado também ao transporte e a deposição das areias a partir da erosão nas vertentes e pelos processos pedogenéticos de elutriação.

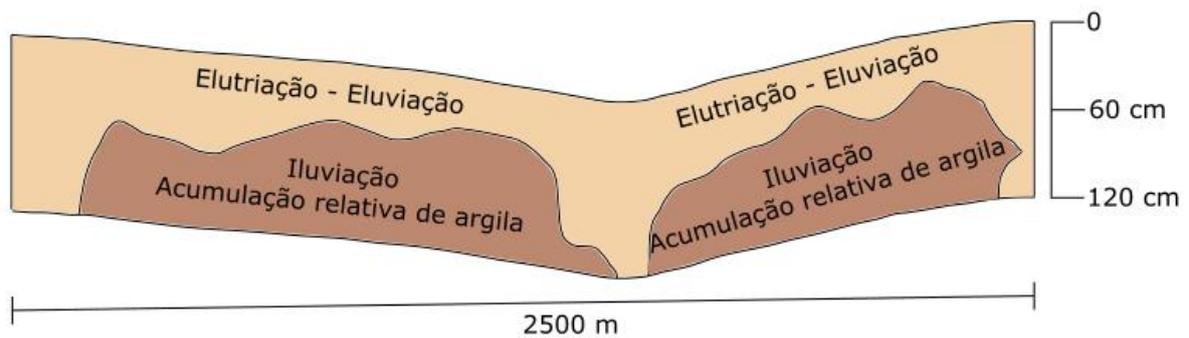


Figura 7. Esquema da atuação dos processos pedogenéticos em duas vertentes baseado em Oliveira, Santos e Calegari (2020)

5. Discussão

5.1. Implicações ambientais das ocorrências de manchas de areia

Embora os solos arenosos tenham fragilidade intrínseca ligada à sua textura, a pressão das atividades antrópicas sobre eles é um fator que tem intensificado o surgimento e a expansão das manchas arenosas em diferentes contextos. No caso específico do noroeste do Paraná, a fragilidade textural dos solos tem papel preponderante no desenvolvimento dos processos de erosão hídrica (FIDALSKI; HELBEL JUNIOR, 2020), situação essa agravada pelo desmatamento realizado na região a partir da década de 1950 e pela maneira como se constituíram os centros urbanos e agrícolas nessa região do estado (BIGARELLA; MAZUCHOWSKI, 1985; MAACK 1968).

O fato dessa região apresentar predomínio de solos com textura superficial arenosa e de ocorrer um sistema de transformação lateral que aumenta o teor de areia em direção a jusante e em profundidade, nos Argissolos e nos Neossolos Quartzarênicos, potencializa o surgimento e o desenvolvimento de problemas ambientais, que podem ser agravados em um cenário de eventos extremos de pluviosidade.

A partir da instalação dos processos erosivos lineares, eles podem evoluir rapidamente em sentido montante nas vertentes. A ocorrência de Neossolos Quartzarênicos e de Argissolos no terço inferior e médio das vertentes, favorecem e/ou potencializam essa evolução. Um exemplo do processo de evolução remontante de uma voçoroca se localizada no distrito de Sumaré (BECKAUSER; SILVEIRA, 2020), pertencente ao município de Paranaíba, noroeste do estado do Paraná (Figura 8). Ao longo dos últimos 20 anos essa voçoroca expandiu longitudinalmente, passando de 6494,14 m² em 2004 para 15.119,24 m² em 2024, atingindo os setores de montante (média alta) vertente.



Figura 8. Evolução de Voçoroca no distrito de Sumaré, Paranavaí (latitude: 23° 4'35.79"S; Longitude: 52°23'37.74"O). Em vermelho perímetro da voçoroca ao longo dos anos. Fonte: Google Earth pro

Associada a posição na paisagem, soma-se o uso da terra como fator favorável a instalação e desenvolvimento de processos erosivos lineares. A pastagem é o tipo de uso bastante significativo na região noroeste do Paraná, representando os maiores espaços de ocupação do uso da terra (FIDALSKI, 1997a). A partir da década de 2000 há um aumento das áreas com produção de cana de açúcar e mandioca no Paraná, em substituição as pastagens, sendo essa região a maior produtora de álcool do estado (PAIVA; NÓBREGA, 2010). Com a maior quantidade de usinas instaladas atualmente, é o produto agrícola que mais ocupa áreas nessa região. Esses usos são favorecidos pelo relevo, caracterizado pelas declividades baixas, em torno de 6%, e pela presença de colinas amplas e médias.

Os principais tipos de uso da terra responsáveis pelo surgimento dos processos erosivos na região, segundo Nóbrega et al. (2023), são as pastagens, e as culturas da cana-de-açúcar e da mandioca. Os impactos ambientais associados a esses usos são distintos. A cana de açúcar e a mandioca deixam os solos desprotegidos ao impacto das chuvas na fase jovem das culturas e as queimadas, normalmente empregadas na etapa da colheita impedem a recomposição da matéria orgânica. O efeito da pastagem, por sua vez, é indireto, e está relacionado a compactação do solo pelo pisoteio do gado (FIDALSKI et al., 2021). Com a compactação crescente e os teores elevados de areia há uma redução da porosidade, principalmente a macroporosidade, afetando a infiltração de água no solo (FIDALSKI et al. 2021). Outro impacto muito comum associado ao gado são as trilhas formadas em direção ao fundo dos vales para beber água (FIDALSKI, 1997a). Essas trilhas se tornam caminhos preferenciais para escoamento das águas superficiais, potencializando o desenvolvimento de processos erosivos.

A caracterização das manchas arenosas na região noroeste do Paraná pode contribuir significativamente para as ações conservacionistas relacionadas ao uso, manejo e conservação de solo e água em solos, especialmente em áreas com predomínio de areias finas e/ou areias grossas (FIDALSKI et al., 2013; FIDALSKI; HELBEL JUNIOR, 2020). Essas práticas, aliadas à manutenção da cobertura vegetal em solos arenosos, promovem o aporte de matéria orgânica, a melhoria da estrutura do solo, a redução do escoamento superficial e perdas de solo pela erosão hídrica, além de proporcionar maior disponibilidade de água às plantas (MERTEN; ARAÚJO; BARBOSA, 2016; FIDALSKI et al., 2021; GOBBI et al., 2022; FIDALSKI; TORMENA, 2022).

6. Conclusões

A utilização de diferentes escalas de análise, desde a observação da paisagem por imagem de satélite e em campo até a análise da microestrutura, permitiu identificar e estimar o percentual de áreas com manchas de areia na região estudada, além de compreender os processos responsáveis pela sua formação. Essas manchas arenosas se formam, principalmente, devido à remoção da cobertura vegetal do solo, permitindo a sua exposição ao impacto direto das gotas de chuva e reduz a adição de matéria orgânica. Tais áreas são indicadas como prioritárias para ações integradas de práticas conservacionistas de uso e manejo.

Apesar das limitações do método relacionadas ao período utilizado das imagens compostas do infravermelho termal e da cobertura do solo por vegetação ou práticas agrícolas, que podem mascarar a ocorrência de solos de maior concentração de areia, as informações granulométricas da fração areia total do horizonte superficial de 72 perfis de solos aumentaram a confiabilidade do modelo utilizado.

Tanto na agricultura quanto na pecuária, a retirada da cobertura vegetal natural, a redução da incorporação da matéria orgânica no solo e a alteração na sua estrutura são fatores que contribuem para o surgimento e desenvolvimento das manchas arenosas e das erosões lineares rurais na região. Esses impactos são considerados severos, uma vez que a recuperação dessas áreas é difícil, mesmo quando há mudanças no uso da terra, fortalecendo a ideia da sua baixa resiliência.

Materiais Suplementares: A tabela com as coordenadas geográficas dos pontos utilizados para validação, contendo a fonte bibliográfica, a descrição e a situação do material litológico de origem, bem como o dado raster da distribuição das manchas de areia estimada, está disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.13929536>.

Contribuições dos Autores: Concepção, L.S., J.O. F.B., M.C., E.B.; metodologia, J.O., F.B., E.B.; software, J.O., F.B., E.B.; validação, L.S., J.O. F.B., M.C., E.B., J.F.; análise formal, F.B.; pesquisa, J.O.; recursos, F.B.; preparação de dados, J.O., F.B.; escrita do artigo, L.S., J.O., F.B.; revisão, L.S., M.C., J.F.; visualização, J.O., F.B.; supervisão, L.S.; aquisição de financiamento, L.S. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

Financiamento: Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ). Bolsa Produtividade - Processo número 309511/2023-2. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ; 305452/2023-1). À Fundação Araucária, grant PI 13/2022 (número de protocolo UFP2022251000030).

Agradecimentos: Agradecemos ao Professor Doutor José Edézio Cunha da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/ Marechal Cândido Rondon (PR), por disponibilizar as fotos das lâminas delgadas, utilizadas no presente artigo.

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

Referências

1. ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., DE MORAES GONÇALVES, J. L., SPAROVEK, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
2. BIGARELLA, J.J., MAZUCHOWSKI, J.Z. Visão Integrada da problemática da erosão. SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DA EROSÃO, 3., Maringá, 1985. Livro Guia. Curitiba, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1985. 329p.
3. BECKAUSER, M. C., & SILVEIRA, H. (2020). Caracterização da cobertura pedológica ao longo de uma topossequência situada no distrito do Sumaré em Paranaíba-PR. *GEOFRONTER*, 6.
4. BHERING, S.B. Mapa de solos do Estado do Paraná: escala 1:250.000: legenda /Silvio Barge Bhering ... [et al.]. - Dados eletrônicos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007. (Documentos, 96). <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/339505/mapa-de-solos-do-estado-do-parana>
5. BREUNIG, F. M., GALVÃO, L. S., FORMAGGIO, A. R. (2008). Detection of sandy soil surfaces using ASTER-derived reflectance, emissivity and elevation data: potential for the identification of land degradation [Environmental Sciences; Geographic Information Systems; **Remote Sensing**. *International Journal of Remote Sensing*, 29(6), 1833–1840. DOI: 10.1080/01431160701851791
6. BREUNIG, F. M., GALVAO, L. S., FORMAGGIO, A. R., & COUTO, E. G. (2009). The combined use of reflectance, emissivity and elevation Aster/Terra data for tropical soil studies. *Revista Brasileira De Ciencia Do Solo*, 33(6), 1785–1794. DOI:10.1590/S0100-06832009000600027

7. CALEGARI, M. R. Distribuição da Cobertura Pedológica e o Relevo no Alto Vale do Ribeirão Água do São Francisco - Nova Esperança-PR. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.
8. CHEN, S., REN, H., LIU, R., TAO, Y., ZHENG, Y., & LIU, H. (2021). Mapping Sandy Land Using the New Sand Differential Emissivity Index From Thermal Infrared Emissivity Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 59(7), 5464–5478. DOI: 10.1109/TGRS.2020.3022772
9. CUNHA, J. E.; CASTRO, S. S.; SALOMÃO, F.X.T. Comportamento erosivo de um sistema pedológico de Umuarama, noroeste do estado do Paraná. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 23, p. 943–951, 1999.
10. CUNHA, J. E., NÓBREGA, M. T. D., & CASTRO, S. S. D. (2008). Infiltração da água no solo no sistema pedológico Campus do Arenito, cidade gaúcha, noroeste do estado do Paraná. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32, 1837-1848. DOI: 10.1590/S0100-06832008000500005
11. DAUGHTRY, C. S. T., HUNT, E. R., & MCMURTREY, J. E. (2004). Assessing crop residue cover using shortwave infrared reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 90(1), 126–134. DOI: 10.1016/j.rse.2003.10.023
12. DEMATTÊ, J. A. M., FONGARO, C. T., RIZZO, R., & SAFANELLI, J. L. (2018). Geospatial Soil Sensing System (GEOS3): A powerful data mining procedure to retrieve soil spectral reflectance from satellite images. *Remote Sensing of Environment*, 212, 161–175. DOI: 10.1016/j.rse.2018.04.047
13. EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5.ed., rev ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2018.
14. FERNANDES, L.A; COIMBRA, A.M. O Grupo Caiuá (Ks): revisão estratigráfica e contexto deposicional. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 24, n. 3, p. 164-176, 1994.
15. FERNANDES, L. A.; COUTO, E. V.; SANTOS, L. J. C. Três Morrinhos, Terra Rica, PR. Arenitos silicificados de dunas do Deserto Caiuá testemunham nível de superfície de aplainamento K-T. Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil – SIGEP, 2012.
16. FERNANDES, L. A., & TCACENCO-MANZANO, L. M. (2023). A Supersequência Bauru no Paraná, revisão cartográfica e cronoestratigráfica. *Geologia USP. Série Científica*, 23(3), 71-97. DOI: 10.11606/issn.2316-9095.v23-197192
17. FIDALSKI, J. Diagnóstico de manejo e conservação do solo e da água na região noroeste do Paraná. *Revista Unimar*, 19(3), 845-851, 1997a.
18. FIDALSKI, J. Fertilidade do solo sob pastagens, lavouras anuais e permanentes na região noroeste do Paraná. *Revista Unimar*, 19(3), 853-861, 1997b.
19. FIDALSKI, J., TORMENA, C. A., ALVES, S. J., & AULER, P. A. M. (2013). Influência das frações de areia na retenção e disponibilidade de água em solos das formações Caiuá e Paranavai. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37, 613-621. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000300007>.
20. FIDALSKI, J.; BORDIN, I.; ALVES, S. J.; BARBOSA, G. M. C. Grazing heights, stocking rate, soil structure, and water infiltration in a crop-livestock integration. *Semina-Ciências Agrárias*, v. 42, p. 123-136, 2021. DOI: 10.5433/1679-0359.2021v42n1p123
21. FIDALSKI, J. E HELBEL JUNIOR, C. (2020). Available water content for the management of irrigated crops in the northwestern region of Parana State. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*. 10.7127/rbai.v14n101152
22. FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A. Physical quality of sandy soils under orange orchards in Southern Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2022;46:e0220006. DOI: 10.36783/18069657rbcs20220006
23. GEIGER, R. Klassifikation der Klimate nach W. Köppen, vol. 3 of Landolt-Börnstein – Zahlenwerte und Funktionen aus Physik, Chemie, Astronomie, Geophysik und Technik, chap. 3, 603–607 (Springer, 1954).
24. GOBBI, K. F., TAKAHASHI, M., AZEVEDO, M. C. B., FIDALSKI, J., LUGÃO, S. M. B. Cassava yield in conventional and no-tillage cultivation in integrated crop-livestock systems. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.57, e02677, 2022. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2022.v57.02677>.
25. GONÇALVES, M. A., TELLES, T. S., CAVIGLIONE, J. H., URBANO, A., & TAVARES FILHO, J. (2013). Diferenciação dos solos em duas toposequências sobre rochas basálticas no norte-central paranaense. *Semina: Ciências Agrárias*, 34(6), 2777-2792. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n6p2777>
26. GUO, H., DOU, C., CHEN, H., LIU, J., FU, B., LI, X., ... LIANG, D. (2023). SDGSAT-1: the world's first scientific satellite for sustainable development goals. *Science Bulletin*, 68(1), 34–38. DOI: 10.1016/j.scib.2022.12.014
27. HULLEY, G. C., & HOOK, S. J. (2011). Generating Consistent Land Surface Temperature and Emissivity Products Between ASTER and MODIS Data for Earth Science Research. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49(4), 1304–1315. DOI: 10.1109/TGRS.2010.2063034
28. HULLEY, G., & HOOK, S. (2015). The ASTER Global Emissivity Database (ASTER GED). Pasadena, CA. Retrieved from https://lpdaac.usgs.gov/documents/120/ASTERGED_User_Guide_V3.pdf

29. HULLEY, G. C., HOOK, S. J., ABBOTT, E., MALAKAR, N., ISLAM, T., & ABRAMS, M. (2015). The ASTER Global Emissivity Dataset (ASTER GED)—Mapping Earth's emissivity at 100 meter spatial scale. **Geophysical Research Letters**, 42(19), 7966–7976. DOI: 10.1002/2015GL065564
30. KOHLHEPP, G. Colonização agrária no Norte do Paraná: processos geoeconômicos e sociogeográficos de desenvolvimento de uma zona subtropical do Brasil sob a influência da plantação de café. Maringá: EDUEM, 2014.
31. KÖPPEN, W. Das geographische System der Klimate, 1–44 (Gebrüder Borntraeger, Berlin, Germany, 1936).
32. KOTTEK, M., GRIESER, J., BECK, C., RUDOLF, B., & RUBEL, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, 15(3), 259–263. DOI: 10.1127/0941-2948/2006/0130
33. MAACK, R. (1968) Geografia Física do Estado do Paraná. 2ª. Edição, Curitiba, Liv. José Olympio Edit..
34. MAIA, M.A.M; MARMOS, J.L. Geodiversidade do estado do Amazonas — Manaus : CPRM, 2010. 2715p. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/920216/1/GeodiversidadeAMCap6.pdf>.
35. MANGUEIRA, C.G. Processos erosivos no noroeste do paraná: mapeamento e análise da distribui o. 2014. 35 f. TCC (Gradua o) - Curso de Geografia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.
36. MANGUEIRA, C.G. Proposta De Classifica o Do Nível De Criticidade Dos Processos Erosivos Da Região Noroeste Do Paraná. 2017. 91 f. Disserta o (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.
37. MARCOLIN, L., & CALEGARI, M. R. (2020). Atributos químicos, físicos e mineralogia de Latossolos e sua rela o com a paisagem no oeste do Paraná. **Revista do Departamento de Geografia**, 39, 48-61. <https://doi.org/10.11606/rdg.v39i0.158400>
38. MARCOLIN, L., CALEGARI, M. R., SANTOS, L. J. C., & DE CAMARGO, P. B. (2023). Phytoliths, $\delta^{13}C$ and Charcoal: holocene environmental memories from a paleogully in northwestern Paraná State. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 24(00). DOI: 10.20502/rbg.v24i00.2328
39. MERTEN, G. H., ARAÚJO, A. G., BARBOSA, G. M. C. Erosão no Estado do Paraná: fundamentos, estudos experimentais e desafios. Londrina: IAPAR. 2016. 116p.
40. NAKASHIMA, P. Cartografia dos Sistemas Pedológicos do Noroeste do Paraná: distribui o e subsídios para o controle da erosão. São Paulo. Tese de doutorado. FFLCH, USP, 1999.
41. NANNI, M. R., DEMATTÊ, J. A. M., & FIORIO, P. R. (2004). Análise discriminante dos solos por meio da resposta espectral no nível terrestre. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 39, 995-1006. DOI: 10.1590/S0100-204X2004001000007
42. NANNI, M. R., & DEMATTE, J. A. M. (2006). Spectral reflectance methodology in comparison to traditional soil analysis. **Soil science society of America journal**, 70(2), 393-407. DOI: 10.2136/sssaj2003.0285
43. NETO, I. D. O. B., SANTOS, C., SUERTEGARAY, D. M. A., & XAVIER, R. A. (2023). The study of soil erosion under a systemic conception. **Ra'e Ga**, 57, 98-114. DOI: 10.5380/raega.v57i0.92445
44. NITSCHKE, P. R., CARAMORI, P. H., RICCE, W. D. S., & PINTO, L. F. D. (2019). Atlas climático do estado do Paraná. Londrina: Instituto Agronômico do Paraná.
45. NÓBREGA, M. T., SILVEIRA, H., DA CUNHA, J. E., BECKAUSER, M. C., BONIFÁCIO, C. M., & BALDO, M. C. (2023). As voçorocas no Noroeste do Paraná: locais preferenciais de ocorrência na paisagem. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 24(00). DOI: 10.20502/rbgeomorfologia.v24i00.2367
46. OLIVEIRA, J. G. Varia o granulométrica em sistemas pedológicos de cabeceira de drenagem no noroeste do estado do Paraná. Disserta o (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019.
47. OLIVEIRA, J. G., SANTOS, L. J. C., & CALEGARI, M. R. (2020). Rela o solo-relevo em sistema pedológico argissolo-neossolo quartz renico na região noroeste do estado do Paraná: caso de Amapor . **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 21(3). DOI: 10.20502/rbg.v21i3.1786
48. PAIVA, R. G.; NÓBREGA, M. T. Características socioecon micas e evolu o do uso do solo do norte central e noroeste paranaense. **Geográficos**, 8(1): 107-131, 2010.
49. PANINI, R. L., ARAÚJO, M. A., GONÇALVES, J. V. F., USHIWATA, S. Y., BATISTA, M. A., & INOUE, T. T. (2024). Classifica o de solos e caracteriza o de atributos físicos de solos de uma topossequência do Arenito Caiuá. **OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA**, 22(3), e3804-e3804. <https://doi.org/10.55905/oelv22n3-136>
50. RODERJAN, C. V., GALVÃO, F., KUNIYOSHI, Y. S., & HATSCHBACH, G. G. (2002). As unidades fitogeográficas do estado do Paraná, Brasil. **Ciência & Ambiente**, 24(1), 75-92.
51. SALISBURY, J. W., & D'ARIA, D. M. (1992). Infrared (8–14 μm) remote sensing of soil particle size. **Remote Sensing of Environment**, 42(2), 157-165. DOI: 10.1016/0034-4257(92)90099-6
52. SALISBURY, J. W., & D'ARIA, D. M. (1992). Emissivity of terrestrial materials in the 8-14 microns atmospheric window. **Remote Sensing of Environment**, 42(2), 83–106. DOI: 10.1016/0034-4257(94)90102-3
53. SANTOS, L. J. C., OKA-FIORI, C., CANALI, N. E., FIORI, A. P., SILVEIRA, C. T. DA, SILVA, J. M. F. DA, & ROSS, J. L. S. (2006). Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná. **Revista Brasileira De Geomorfologia**, 7(2). <https://doi.org/10.20502/rbg.v7i2.74>.

54. SANTOS, L. J. C., & OLIVEIRA, J. G. (2020). Evolução de Neossolos Quartzarênicos com base em estudo de caso na região noroeste do Paraná. **William Morris Davis-Revista de Geomorfologia**, 1(2).
55. SILVA, L. M., FIDALSKI, J., & BERTOL, O. J. (2011). Disponibilidade de água do solo em uma catena característica do arenito no Noroeste do Paraná. In Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo (Vol. 31). Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
56. SOUZA, C. M., SHIMBO, J. Z., ROSA, M. R., PARENTE, L. L., ALENCAR, A. A., RUDORFF, B. F. T., ... & AZEVEDO, T. (2020). Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with landsat archive and earth engine. **Remote Sensing**, 12: 2735. DOI: 10.3390/rs12172735
57. STOOPS, G.; MARCELINO, V; MEES, F. Micromorphological features and their relation to processes and classification: general guidelines and keys. In: Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths. Elsevier, 2010. p. 15-35.



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.