

COMPORTAMENTO QUÍMICO DE NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS EM MINEIROS, SUDOESTE GOIANO

Marco Aurélio PESSOA-DE-SOUZA^{1,2}, Rherison Tyrone Silva ALMEIDA², Cláudia Milene Nascente das NEVES², João Paulo Vilela de CASTRO², Selma Simões de CASTRO³

(1) Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Departamento de Zootecnia, Campus 2, Jardim Mariliza, Goiânia, Goiás, Brasil.

Endereço eletrônico: pessoa.aurelio@gmail.com.

(2) Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia, Programa de Pós Graduação em Agronomia, Rodovia Goiânia/Nova Veneza, km 0, Campus Samambaia, CEP 74001-970 Goiânia, Goiás, Brasil. Endereços eletrônicos: rherison.almeida@live.com, claudia_nascente@yahoo.com.br, vilela-jp@hotmail.com.

(3) Universidade Federal de Goiás, Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, Laboratório de Geomorfologia, Pedologia e Geografia Física, Campus Samambaia, CEP 74001-970 Goiânia, Goiás, Brasil. Endereço eletrônico: selma.castro@uol.com.br.

Introdução
Área de Estudo
Materiais e Métodos
Resultados e Discussão
Conclusão
Agradecimentos
Referências Bibliográficas

RESUMO – As práticas agrícolas alteram o comportamento de nutrientes do solo, principalmente dos arenosos, nos quais a elevada macroporosidade favorece os fluxos hídricos. O objetivo do presente estudo é caracterizar o comportamento químico de uma topossequência constituída por Neossolo Quartzarênico e Gleissolo háptico, representativa da região de Mineiros, no Sudoeste Goiano, ocupada com pastagem. Foram estudados cinco perfis do solo ao longo da topossequência (T1 – montante; T2, T3, T4 – na encosta; T5 – jusante), seguindo o eixo central da vertente na linha de maior declividade. Amostras de todos os horizontes dos perfis foram coletadas para análises físicas e químicas, bem como testes de resistência à penetração e de infiltração foram realizados ao lado dos mesmos. Os resultados indicam aumento de Ca, Mg e P até 60 cm de profundidade e diminuição em profundidade em todos os perfis de solo, sobretudo do alumínio e cálcio, além do acúmulo de matéria orgânica em superfície no perfil T5 ao sopé da encosta. Interpretou-se os aumentos de nutrientes em superfície como resposta a calagem e adubação e de matéria orgânica no sopé devido à saturação permanente nesse setor.

Palavras-chave: neossolos quartzarênicos; Cerrado; atributos químicos, topossequência

ABSTRACT – Agricultural practices change the behavior of soil nutrients, mainly of sand soils, in which the high macroporosity promotes intensive water flows. The aim of this study is to characterize the chemical behavior of a toposequence of the hillside and consists of Quartzipsamment and Humic haplic Gleysol, representative of Mineiros' municipality of Southwest Goiás State. Five pits where soil profiles were studied throughout the topographic sequence (T1 - amount, T2, T3, T4 - on the slope; T5 - downslope), following the central axis of the strand in the larger slope line. Samples were collected for physical and chemical analysis, as well as the penetration resistance and infiltration tests were conducted. The results indicate an increase of Ca, Mg and P up to 60 cm deep and decrease in depth in all soil profiles, mainly aluminum and calcium, in addition to the accumulation of organic matter on the surface in T5 profile foot of the slope. Played up the nutrients, in surface increases in response to liming, fertilization and organic matter at the downstream due to permanent saturation in this sector.

Keywords: Quartzipsament soils, Tropical Savanna, chemical attributes, toposequence

INTRODUÇÃO

No cenário agropecuário brasileiro, o Sudoeste goiano posiciona-se dentre as regiões agrícolas mais importantes.. Conforme Lima (2010), essa região apresenta os maiores indicadores de produtividade nos vários segmentos do agronegócio no Estado. Por outro lado, os seus padrões de uso e ocupação do solo revelam conflitos entre a aptidão agrícola e uso, o que tem ocasionado impactos socioambientais, como fragmentação da cobertura natural, erosão e assoreamento, dentre outros, como constatado por Castro (2005) e Cabacinha & Castro (2009).

Este tipo de problema é notado em solos denominado por frágeis, como os Neossolos

Quartzarênicos (RQo) (Albuquerque et al, 2011), comumente encontrados no município de Mineiros (GO) e arredores.

Scopel et al. (2005) relataram forte pressão de ocupação dos solos nessa região nos últimos anos, dada a baixa disponibilidade de extensas áreas com solos de textura argilosa, como os Latossolos Vermelhos, os quais, na maioria, já se encontravam ocupados com culturas anuais e recentemente, sobretudo desde 2008, têm sido convertidos à cana-de-açúcar, restando aos demais solos as pastagens extensivas (Castro et al, 2010; Barbalho, Silva e Castro, 2013).

Gomes et al. (2008) citam que nos Neossolos Quartzarênicos ocorrem altas

relações macro/microporos, dado o elevado grau de arredondamento dos grãos de quartzo que os compõem e que favorece a elevada percolação vertical da água, traduzida pela alta condutividade hidráulica desses solos que, aliada ao seu baixo teor de argila e baixo teor de matéria orgânica, contribui para a baixa coesão de partículas, praticamente ausência de agregação e intenso do processo de lixiviação. Dessa forma, são também ecologicamente frágeis por apresentarem baixa capacidade de retenção de água e nutrientes no solo para as plantas, além de elevada erodibilidade (Zuo et al., 2008).

O estudo da cobertura pedológica como um corpo contínuo, proposto nas abordagens em topossequência, ou transectos (Oliveira et al., 1998), permite não só identificar, a distribuição dos horizontes de solo vertical e lateralmente no seu interior, mas também as relações entre eles (Castro et al., 2003), possibilitando uma visão global e integrada dos vários

componentes da paisagem (Castro e Salomão, 2000; Faria et al., 2010).

De acordo com IBGE (2007), este tipo de estudo auxilia na avaliação do comportamento e funcionamento hídrico do solo, de maneira a ampliar os conhecimentos sobre as relações solo-planta. Quando a topossequência sob uma vegetação nativa é convertida para cultivo, pode haver perda de nutrientes ao longo do declive, em decorrência de práticas agrícolas inadequadas (Faria et al., 2010), o que afeta a produtividade e os custos de produção, devido aumento de demanda de insumos agrícolas, e conseqüentemente ocasionando na degradação do solo e o comprometimento da qualidade das águas dos aquíferos.

Este trabalho tem como objetivo caracterizar o comportamento químico de solos arenosos de uma vertente com o uso de pastagem, por meio de uma topossequência no município de Mineiros, Sudoeste do Estado de Goiás.

ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado no Município de Mineiros, a sudoeste do Estado de Goiás, na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Alegre

(17°28'45.55" Sul e 52°29'23.54" Oeste) entre as altitudes de 700 e 840 m (Figura 1).

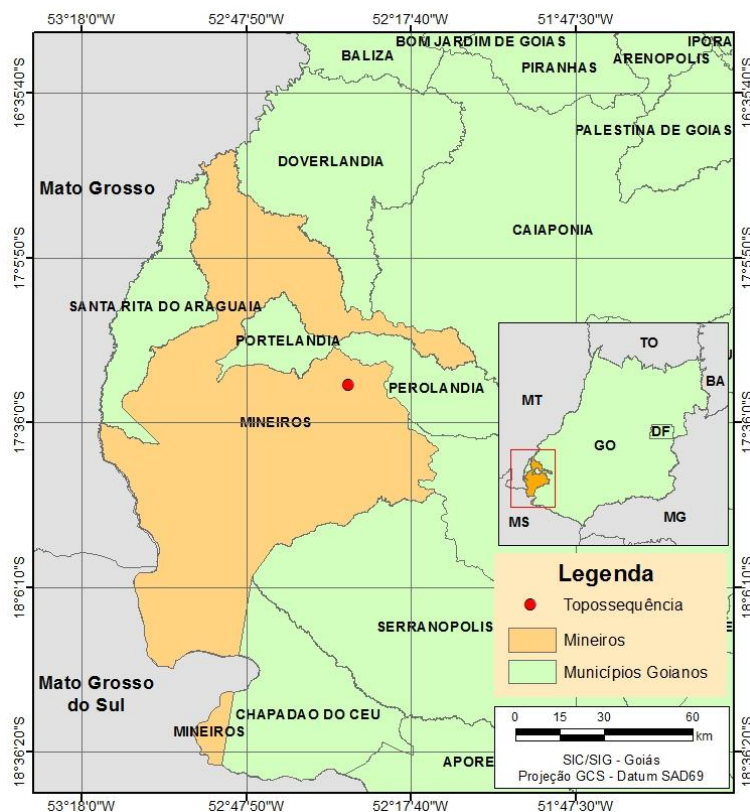


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo no Município de Mineiros, Estado de Goiás.

A área é sustentada predominantemente por de arenitos da Formação Botucatu do Jura-Triássico, a qual integra o pacote sedimentar da Bacia Sedimentar do Paraná, constituída por arenitos quartzosos da granulometria média a fina, os quais são puros, bem selecionados e com elevada maturidade textural e mineralógica, mas com cimentação baixa ou ausente (SIC/SGM/FUNMINERAL, 2005a). Por outro lado, os sistemas de porosidade intergrãos, com espaços primários e secundários, em geral compõem excelentes aquíferos, cujo potencial é função de espessura saturada e das taxas de precipitação pluvial. Porém são menos profundos na região Sudoeste Goiano e em particular em Mineiros, o que favorece sua contaminação (Alves e Castro, 2009).

O relevo da região da bacia é medianamente dissecado com formas convexas, associado a formas tabulares amplas e *cuestas*, que impõem ressaltos topográficos às paisagens, denominados de Chapadas e Chapadões, alcançando quase 1000 m de altitude máxima, com escarpas que os delimitam e que podem chegar a 64° de declive separando-os de seu entorno rebaixado do tipo colinoso amplo, cujos interflúvios apresentam extensão de 750 a 3750 m, sobre os quais se desenvolveram solos predominantemente Latossolos Vermelhos distroféricos e distróficos argilosos nos topos

das Chapadas e Neossolos Quartzarênicos órticos na zona rebaixada (Oliveira et al., 2003; Castro, 2005).

Os Latossolos Vermelhos argilosos das Chapadas são geralmente cultivados com grãos, especialmente soja rotacionada com milho, milho ou sorgo, e mais recentemente vem sendo substituídos por cana-de-açúcar. Na zona rebaixada e nas bordas das Chapadas os Neossolos Quartzarênicos órticos são dominados por pastagens extensivas e não raro se encontram degradados por processos erosivos lineares, muitas vezes de grande porte e complexidade como as voçorocas (Castro, 2005; Marinho et al, 2006).

O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical, ou de savana com estação seca de inverno e verão chuvoso (Awa), com temperatura média anual de 18 a 32°C e precipitação anual de, aproximadamente, 1600 mm (SIC/SGM/FUNMINERAL, 2005b).

A vegetação original era composta de fitofisionomias de Cerrado, as quais foram fragmentadas devido sua conversão em culturas e pastagens, restando, sobretudo, as matas ciliares ou de galeria e as florestas secundárias das zonas escarpadas, em consequência da chegada da Fronteira Agrícola do século passado que chegou à região na década de 80 (Cabacinha e Castro, 2009).

MATERIAIS E MÉTODOS

A caracterização geral do meio físico e biótico da área de estudo foi feita com base na análise de imagens de satélite Landsat ETM 5 e TOPODATA disponíveis no sítio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, para identificação do uso e cobertura do solo e elaboração da base cartográfica e dos mapas hipsométrico e de declive, além de compilação de mapas temáticos (geologia, geomorfologia e solos) disponíveis no portal do SIEG – Sistema de Informações Geográficas de Goiás, para auxiliar na compreensão das características da paisagem.

A topossequência representativa da área foi levantada numa pequena bacia hidrográfica representativa da transição entre a Chapada e a zona rebaixada, como acima relatadas, seguindo a linha de maior declividade da

encosta. Nesta domina relevo suave recoberto por Neossolos Quartzarênicos e ocupada com pastagem extensiva, mantendo vegetação ciliar no fundo de vale, após o qual se segue uma escarpa de quase 50m até o nível do córrego atual, na qual aflora o arenito Botucatu e ocorrem várias surgências do nível freático (Figura 2).

O levantamento da topossequência foi feito através de tradagens iniciais para seleção de pontos para abertura de trincheiras na encosta e por tradagens entre as trincheiras, para a delimitação longitudinal de início e término de horizontes, de acordo como as instruções de Boulet et al., (1982) e Fernandes Barros, (1986). Ao todo foram feitas onze tradagens e abertas cinco trincheiras (T1 a T5) com profundidade média de 1,5 m, sendo a primeira

trincheira (T1) posicionada no topo da colina e a quinta trincheira (T5) no sopé da encosta antes da escarpa e as demais, em ordem

numérica decrescente, posicionadas entre as duas, em pontos onde a espessura dos horizontes mostraram diferenças (Figura 2).

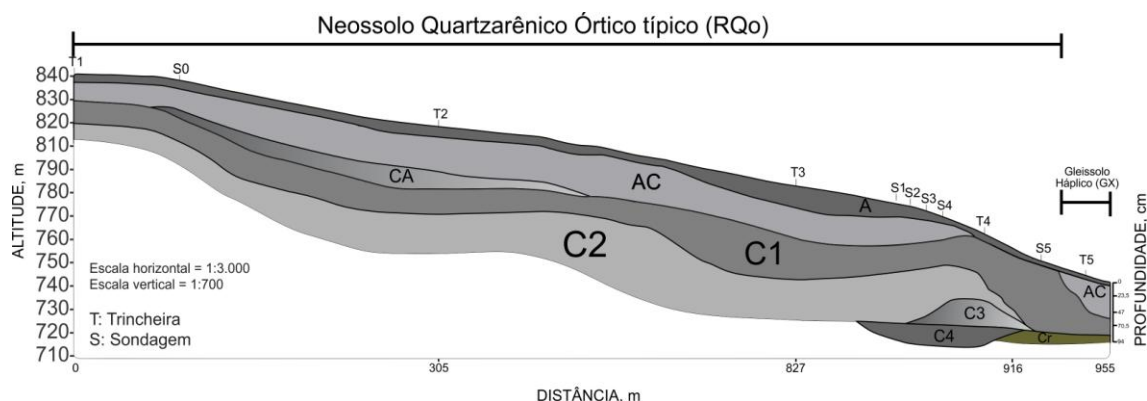


Figura 2. Representação bidimensional da cobertura pedológica da topossequência estudada com cinco pontos com solos arenosos em Mineiros, GO.

A descrição morfológica dos perfis de solo seguiu as instruções de Santos et al (2013). Em cada horizonte foram coletadas amostras de solo deformadas e indeformadas. Amostras deformadas foram coletadas com três repetições, secas ao ar e passadas em peneira de 2 mm e destinadas à análise granulométrica e química (fertilidade, matéria orgânica, carbono, fósforo disponível e zinco), ambas conforme Embrapa (2011). As amostras indeformadas foram coletadas em anéis volumétricos de 5 cm de altura por 5 cm (100 de largura), também em triplicata, para determinação da densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade. As amostras indeformadas foram saturadas em bandejas com água destilada e submetida à tensão com 60 cm de altura de coluna de água para determinação da microporosidade. Após estes ensaios, as amostras foram secas em estufa, a 105°C, por

48 horas, para a determinação da densidade do solo (Ds), e do volume total de poros (VTP) e a macroporosidade foi determinada pela diferença entre VTP e a microporosidade (Embrapa, 2011).

No campo foram realizados testes de resistência do solo à penetração com penetrômetro de impacto até 60 cm de profundidade (Stolf et al. 1991), com três repetições, ao lado de todas as trincheiras.

Os resultados dos atributos físicos do solo foram submetidos à análise de variância, segundo o delineamento inteiramente casualizado. As comparações das médias foram realizadas pelo teste de Tukey ao nível 5% de probabilidade de erro.

A classificação dos solos baseou-se no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, SiBCS (Embrapa 2013) até o terceiro nível categórico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na topossequência (Figura 2) os solos foram classificados como Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo) nas T1, T2, T3 e T4 e Gleissolo Háptico (GX) na T5, de acordo com

EMBRAPA (2013). As informações de descrição morfológica dos perfis das trincheiras estudadas estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição morfológica simplificada dos perfis da topossequência estudada.

| Horiz | Prof. (cm) | Cor (seca; úmida) (tabela de cores de Munsell) | Textura | estrutura, consistência (seca e úmida) |
|---|------------|--|---------|--|
| T1 - Neossolo Quartzarênico Órtico típico | | | | |
| A | 0-10 | Bruno avermelhado (5YR 4/4); Bruno avermelhado escuro (5YR 3/3) | Arenosa | maciça, porosidade intergrãos, seco, não plástica e não pegajoso |

| | | | | |
|----|-----------|---|---------|--|
| AC | 10-50(54) | Vermelho (2,5 YR 4/6); Bruno avermelhado (2,5 YR 4/4) | Arenosa | maciça, porosidade intergrãos, seco, não plástica e não pegajoso |
| C1 | 54-106 | Vermelho (2,5 YR 4/6); Bruno avermelhado (2,5 YR 4/4) | Arenosa | maciça, porosidade intergrãos, seco, não plástica e não pegajoso |
| C2 | 106-140+ | Vermelho (2,5 YR 5/8); Bruno avermelhado (2,5 YR 4/8) | Arenosa | maciça, porosidade intergrãos, seco, não plástica e não pegajoso |

| Horiz | Prof. (cm) | Cor (seca; úmida) (tabela de cores de Munsell) | Textura | estrutura, consistência (seca e úmida) |
|-------|------------|--|---------|--|
|-------|------------|--|---------|--|

T2 - Neossolo Quartzarenico Órtico típico

| | | | | |
|----|-----------|--|---------|---|
| A | 0-10 | Vermelho amarelado (5YR 5/6); Bruno-avermelhado (5YR 4/4) | Arenosa | maciça não coerente, porosidade pequena, sem visibilidade, solta, solta, não plástica, não pegajoso |
| AC | 10-50(54) | Vermelho-amarelado (5YR 5/8); Vermelho-amarelado (5YR 4/6) | Arenosa | maciça, porosidade muito pequena e pouco visíveis, solta, solta, não plástica e não pegajosa |
| CA | 54-69(72) | Vermelho (2,5 YR 5/8); Vermelho(2,5YR 4/8) | Arenosa | maciça, porosidade intergrãos, solta, solta, não plástica, não pegajosa |
| C1 | 72-93 | Vermelho-amarelado (5YR 5/8); Vermelho (2,5YR 5/8) | Arenosa | maciça, porosidade intergrãos, solta, solta, não plástica, não pegajosa |
| C2 | 93-122+ | Vermelho (2,5 YR 5/8); vermelho (2,5 YR 4/8) | Arenosa | maciça, porosidade intergrãos, solta, solta, não plástica, não pegajosa |

T3 - Neossolo Quartzarenico Órtico típico

| | | | | |
|----|-----------|---|---------|--|
| A | 0-14 | Marrom (7,5 YR 4/4); Marrom escuro (7,5 YR 3/4) | Arenosa | maciça não coerente, porosidade muito pequena e sem poros visíveis, solta, não plástica e não pegajosa |
| AC | 14-68(79) | Bruno forte (7,5 YR 5/6); Bruno forte (7,5 YR 4/6); vermelha (7,5 YR 3/3,5) - mosqueados | Arenosa | maciça não coerente, porosidade muito pequena e sem poros visíveis, solta, não plástica e não pegajosa. Presença de mosqueados |
| C1 | 79-100 | Vermelho amarelado (5 YR 5/6); Bruno avermelhado (5 YR 4/4); vermelho (7,5 YR 3/3,5) – mosqueados | Arenosa | maciça não coerente, porosidade muito pequena e sem poros visíveis, solta, não plástica e não pegajosa. Presença de mosqueados |
| C2 | 100-130+ | Vermelho amarelado (5 YR 5/6); Bruno avermelhado (5 YR 4/4); | Arenosa | maciça não coerente, porosidade muito pequena e sem poros visíveis, solta, não plástica e não pegajosa, ausente de feições |

T4 - Neossolo Quartzarenico Órtico típico

| | | | | |
|----|--------|--|---------|--|
| A | 0-10 | Bruno avermelhado escuro (10 YR 3/4) úmido | Arenosa | maciça não coerente, porosidade intergrãos, solta, solta, não plástica, não pegajosa |
| C1 | 10-45 | Bruno avermelhado claro (2,5 YR 6/3) | Arenosa | maciça não coerente, porosidade intergrãos, solta, solta, não plástica, não pegajosa |
| C2 | 45-75 | Bruno avermelhado claro (2,5 YR 6/3); vermelho escuro (7,5 YR 6/8) – mosqueado | Arenosa | maciça não coerente, porosidade intergrãos, solta, solta, não plástica, não pegajosa |
| C3 | 75-105 | Bruno avermelhado claro (2,5 YR 7/3); vermelho escuro (7,5 YR 6/8) – mosqueado | Arenosa | maciça não coerente, porosidade intergrãos, solta, solta, não plástica, não pegajosa |
| C4 | 105+ | Branco (7,5 YR 8/1) seco; cinzento claro (10YR 7/2) | Arenosa | maciça não coerente, porosidade intergrãos, solta, solta, não plástica, não pegajosa |

T5 - Gleissolo Háptico

| | | | | |
|----|-----------|---|---------|--|
| A | 0-8 | Marrom escura (10 YR 3/3) seco | Arenosa | maciça não coerente, porosidade intergrãos, solta, solta, não plástica, não pegajosa |
| AC | 08-60 | Marrom escura (10 YR 3/3) seco; Amarelo (10 YR 5/8; 10 YR 4/1) – mosqueados | Arenosa | maciça não coerente, porosidade intergrãos, solta, solta, não plástica, não pegajosa |
| C1 | 60-70(85) | Cinza claro (10 YR 7/2) | Arenosa | maciça, porosidade visível, dura, dura, ligeiramente plástica, não pegajosa |
| CR | 85-94+ | Bruno avermelhado claro (2,5 YR 7/3); | Arenosa | maciça, porosidade não visível, dura, dura, ligeiramente plástica, não pegajosa |

A distribuição dos solos na topossequência (Figura 2) é relativamente homogênea, com horizontes paralelos entre si e com a topografia externa, o que permite deduzir que foram desenvolvidos concomitantemente ao desenvolvimento geomorfológico da encosta e o fato de serem arenosos finos e arredondados quando observados com lupa de bolso em campo permite constatar que derivam do arenito Botucatu subjacente. Trata-se de solos bem drenados e profundos, sobretudo no terço superior e médio da vertente (T1 a T4), exceto à jusante do interflúvio, onde ocorre o Gleissolo Háplico.

Quanto à forma da encosta, percebe-se formação de pequena concavidade no terço inferior e aparecimento de depósitos de areia lavada em superfície, recobrando o solo entre a T4 e T5, sugerindo coluvionamento, entretanto, não se constatarem variações de textura em profundidade que corroborem essa ideia, pois que o solo permanece arenoso e homogêneo, mesmo considerando que o teor de argila aumenta ligeiramente em profundidade em todos os perfis (Tabela 1). Pequenos e abundantes volumes de areia lavada também foram observados nos horizontes superficiais A, sobretudo na T1 situada no topo, evidenciando uma possível eluviação de argila, vertical e lateral, conforme observado também por Soares; Espindola; Castro (2005). A jusante a argila aumenta notavelmente em profundidade, estando claramente relacionada à alteração do arenito. O silte também aumenta ligeiramente em profundidade em todos os perfis, mas não representa nenhum significado expressivo.

Os resultados de pH indicam alta indisponibilidade de nutrientes para as plantas, uma vez que a faixa de absorção para nutrição em solos do Cerrado está entre 5,5 e 6,5 (Novais et al., 2007), o que resulta numa baixa aptidão deste tipo de solo para algumas culturas (Figura 3a).

Na T1, localizada no topo da encosta, sob mata antropizada (reserva legal) é possível encontrar uma fina camada de fitomassa morta depositada em superfície. O pH indica solo muito ácido, típico do Cerrado, que por vezes está associado às altas taxas de intemperismo e perdas de bases ao longo do perfil e da encosta,

no presente caso muito facilitado pelo substrato arenítico, quartzoso e sem cimento significativo.

Na T2 se observa um efeito da aplicação de calcário (Ca) na regulação do pH (Novais et al., 2007) em até aproximadamente 60 cm de profundidade, quando os resultados se equiparam ao encontrado nos demais perfis, similar ao encontrado por Silva Neto et al. (2013). Este fenômeno pode estar associado à calagem da pastagem (Figuras 3b e 3c). Em profundidade, uma alta taxa de raízes comuns e finas é observada, advindas da pastagem plantada (*Brachiaria ruziziensis*) que mesmo degradada, responde à calagem com maior produção de raízes. O calcário tem a capacidade de estimular crescimento radicular em profundidade, por melhorar as taxas de absorção de água e o pH do solo (Novais et al., 2007)

A T3 não apresenta grandes mudanças ao longo do perfil e segue um comportamento similar ao observado na T1, ao passo que na T4 esta similaridade não é observada, pois entre 40 a 80 cm, que constituem o horizonte C2 e C3, o pH oscila positivamente. No entanto, nestes horizontes já se observa mosqueado associado à oscilação do lençol freático, indicando hidromorfia basal e sazonal da encosta, apesar de uma macroporosidade elevada. Mas, devido rebaixamento concavizado da topografia, a circulação hídrica perde energia, acumulando-se água nesse segmento (Embrapa, 2013). O hidromorfismo costuma elevar o pH para próximo da neutralidade e o potencial redox para próximo de 0 mV, como resultado da redução dos metais presentes no solo. Mas, esta condição pode alterar a capacidade do solo em disponibilizar nutrientes para as plantas, uma vez que a absorção ocorre em pH entre 5,5 e 6,5 (Megonigal, 2004).

Entretanto, a T5 apresenta os potenciais mais ácidos, resultado muito diferente do esperado, uma vez que este perfil está associado à hidromorfia. Paralelamente, ao se observar os teores de alumínio (Al) (Figura 3e), nota-se uma remoção do alumínio para jusante da paisagem, dessa forma, provavelmente esta acidez está condicionada a presença do excesso deste elemento.

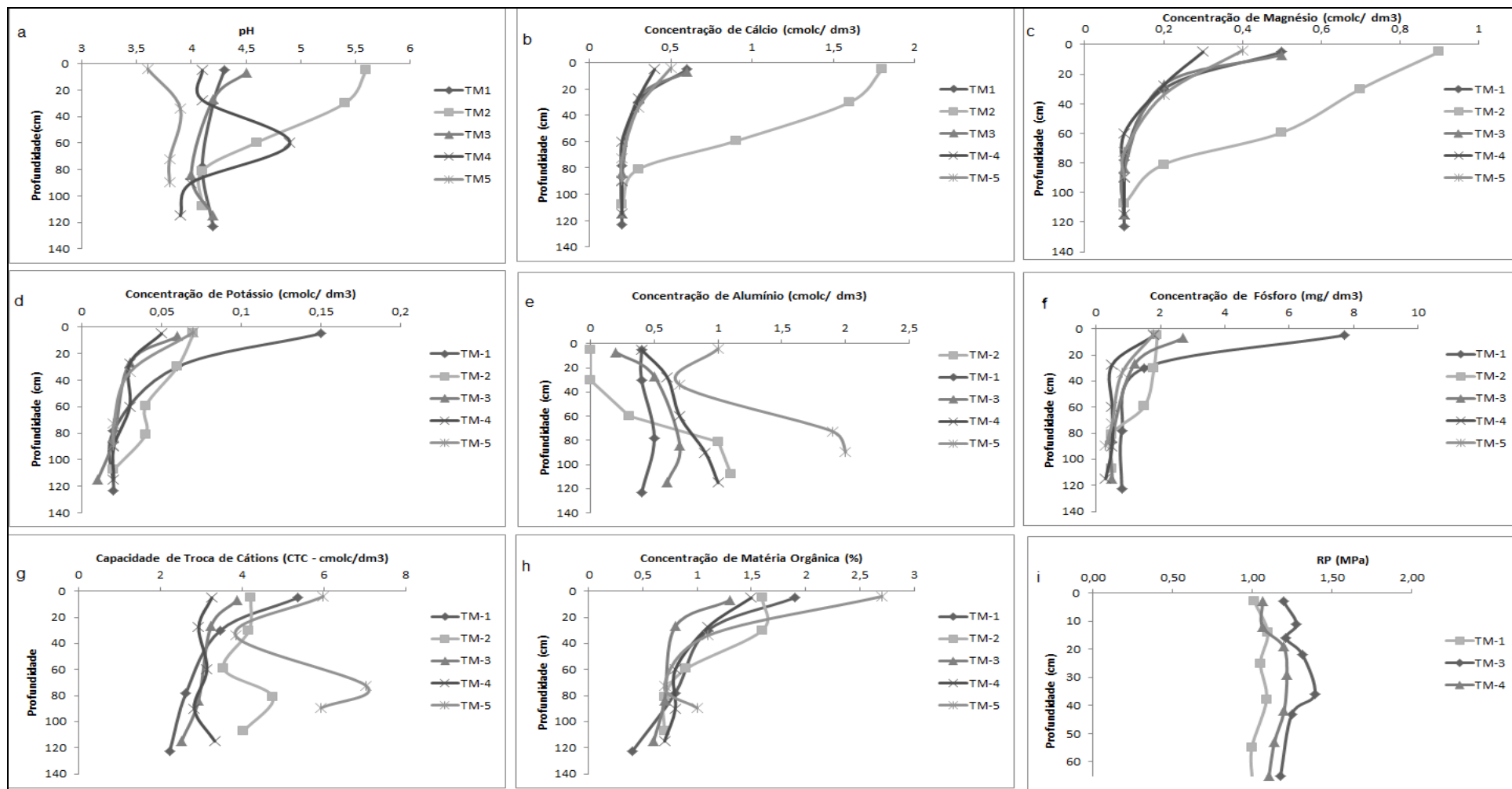


Figura 3. Atributos químicos do Neossolo Quartzarênico Órtico típico em topossequência na região de Mineiros. (a) pH calculado pelo método da água, os resultados de cálcio (Ca) (b), magnésio (Mg) (c), potássio (K) (d), alumínio (Al) (e) e CTC (g) são apresentados em $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$; o resultado de fósforo (P) (f) é apresentado em mg/dm^3 e a matéria orgânica (MO) (h) em porcentagem.

Em todos os outros pontos verificados, o comportamento do cálcio não varia, confirmando a interpretação de que se trata de um elemento que não possui uma grande mobilidade, sobretudo horizontal (Maria et al., 1993). Sua mobilidade vertical está associada à presença de água e alumínio no sistema, o que é notório, pois seu aprofundamento não ultrapassa os 60 cm. Abaixo desta profundidade no perfil, o Ca já se comporta como nos outros pontos observados. A correlação de Ca:Mg, ultrapassa a relação 1:1, dessa forma é possível que a fonte de calcário utilizado seja do tipo calcítico (Maria et al., 1993). O Mg não ultrapassa os 60 cm de profundidade e já se comporta como os outros pontos observados, o que reforça a possibilidade de uma calagem neste ponto da encosta.

Carneiro et al. (2009; 2013) relatam que os teores de Ca e Mg em Neossolos Quartzarênicos no Cerrado, nas pastagens naturais, pastagens plantadas e soja em plantio direto, são muito inferiores aos registrados neste estudo. Resultados similares foram encontrados por Silva Neto et al. (2013) avaliando os atributos químicos de Neossolos Quartzarênicos, confirmando este mesmo comportamento. Os maiores resultados encontrados pelos autores, de Ca e Mg foram de 0,78 a 0,90 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente, o que, neste caso, pode ser um indicativo de supercalagem recente.

Ao contrário de muitos elementos, o potássio (Figura 3d) é muito pouco móvel, pois cerca de 90 a 98% do que é encontrado no solo pode estar adsorvido nas lâminas de argila (Novais et al., 2007). Logo, não é um elemento que se encontra em grandes concentrações no solo. Os resultados apontam a um comportamento homogêneo em profundidade e ao longo da paisagem, exceto na T1 (Figura 2d), que apresentou resultados superiores às demais no primeiro horizonte, e uma disponibilidade mediana de potássio trocável, de acordo com Melo et al. (2003).

A disponibilidade de K no solo pode ter relação também com o material de origem e sua liberação a partir dos minerais primários por meio do intemperismo (Furtini Neto et al., 2001). Sabe-se que a passagem do potássio

na forma trocável para a não trocável pode ser rápida, dependendo da concentração do nutrientes na solução do solo, fazendo com que seja possível a ocorrência de perdas por lixiviação das formas inicialmente não disponíveis, devido à tendência natural de equilíbrio do solo (Werle et al., 2008). Entretanto, a quase totalidade do K total dos solos está na fase mineral (Maria et al., 1993). Os minerais mais comuns relacionados como fontes de K estrutural são as micas e os feldspatos (Ferreira et al., 2008; Furtini Neto et al., 2001). Todavia, de acordo com Wu & Caetano-Chang (1992), em estudo realizado na região centro-leste de São Paulo, a Formação Botucatu não apresenta características mineralógicas que contribuam para um alto teor de potássio no solo. Porém, Ferreira et al. (2008) apresentam indícios da presença de potássio com os tipos de minerais da Formação Botucatu. A mesma afirmação é feita por Pereira et al. (2007), que sugere que a matriz dos quartzarenitos Botucatu estão associados a minerais como os feldspatos potássicos, com teores médios de 0,9 a 7,3%. Ainda de acordo com o mesmo autor, este pode ser o resultado da atuação dos processos de intemperismo desenvolvidos pelo clima da região, no qual o feldspato potássico dos arenitos é decomposto e o K_2O é removido em solução pelas águas, podendo formar os argilominerais na forma de ilitas.

A concentração de alumínio (Figura 2e) no solo reflete os efeitos de acidez e seu aumento em profundidade indica sua possível migração vertical no solo por lavagem pelas águas percolantes. Contudo, diante dos pH registrados o alumínio tenderia a imobilidade. Sua disponibilidade para a planta tem relação direta com o pH do solo, além disso estimular o engrossamento de raízes, diminuindo seu crescimento em profundidade, além de efeitos tóxicos (Novais, 2007). Mesmo se tratando de *Brachiaria ruziziensis*, no qual o sistema radicular pode chegar a 1,5 m, seu desenvolvimento radicular não é

influenciado pelos altos teores de Al (Carneiro et al. (2009; 2013)).

Na T5 os resultados de pH atingem valores abaixo de 5,5 (Figura 3a) e os teores de alumínio (Figura 3e) são os mais altos da toposequência, o que pode estar associado ao à hidromorfia condicionada pelo terreno, ou, o mais provável, ao acúmulo devido imobilidade do alumínio resultando em concentração residual.

Sabe-se que solos de alta drenagem apresentam uma tendência a acidez elevada (Novais et al., 2007). A acidez também oferece indícios do nível de intemperismo em que um solo se encontra, justamente por ter perdido suas bases vertical e horizontalmente. De uma forma geral, os dados não apresentaram grandes alterações para alumínio ao longo do perfil. O que se pode afirmar, na verdade, é que à medida que se desce na encosta, há uma tendência a se concentrar alumínio no final da vertente, devido os processos de intemperismo.

O fósforo no solo tem um comportamento muito reativo e pouco móvel. Assim como outros cátions e ânions, tem a sua disponibilidade afetada também pelo pH. Ademais, ele pode se fixar na matéria orgânica, bem como nas lâminas das argilas (Broggi et al., 2011; Pizzeghello et al.; 2011). Os resultados para o fósforo (Figura 2f) indicam um alto teor deste nutriente nos primeiros 20 centímetros de profundidade do perfil, chegando a teores próximos de $8 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Esta concentração elevada pode estar associada à presença de uma camada de matéria orgânica gerada pela fitomassa da mata, na T1, correlação também encontrada por Broggi et al. (2011). Ademais, ainda que o teor de matéria orgânica (Figura 2h) e fósforo (figura 2 f) tenha sido maior na T5, sugere-se que a qualidade da fitomassa depositada em superfície seja maior na T1. Na T5, além disso, pela topografia os fluxos laterais apresentam maior energia, o que pode remover biomassa.

Estes resultados são contrastantes com os encontrados por Carneiro et al. (2009; 2013) para vegetações de Cerrado e pastagens, mas endossados por Silva Neto et al. (2013) para Neossolos Quartzarênicos. Teores similares só foram encontrados em áreas de soja com

plântio direto por Carneiro et al., (2009). Dessa forma, é sugerido que mais estudos sejam desenvolvidos sobre o efeito da fitomassa nos solos do Cerrado, sobretudo com enfoques para a ciclagem de nutrientes, que não é escopo deste trabalho.

Pizzeghello et al. (2011) comentam que a relação de fonte e dreno de P no solo tem relação com a presença de altos teores de Fe e Al das argilas. Neste caso, o solo muito intemperizado pode servir como dreno de fósforo, à medida que os teores deste tipo de argila aumentam. Entretanto, não foram observados altos teores de argila neste solo. Dessa forma, a fina liteira formada pela fitomassa da mata pode ter função de fonte de fósforo no solo. Já nas outras trincheiras (Figura 2f) não foram observadas grandes variações, o que evidencia a pouca mobilidade do fósforo.

De uma forma geral, não há diferenças substanciais entre os perfis de solos, mas à medida que se aprofunda nos perfis, naturalmente o teor de matéria orgânica diminui (Figura 2h), como esperado, uma vez que o sistema radicular das plantas, sobretudo as gramíneas, diminui.

A entrada de carbono (C) no solo está relacionada com a biomassa aérea e radicular das plantas (Novais et al., 2007; Paiva et al., 2011), bem como pela presença da macro e microbiota do solo (Pereira et al., 2013). Paiva et al. (2011) comenta que a vegetação típica das formações vegetais tropicais possui uma alta proporção de biomassa subterrânea em relação à biomassa aérea, mas mesmo assim, existe um alto estoque de carbono em ambas as fontes de biomassa. Siqueira et al. (2009) também reforçam o papel da biomassa radicular e aérea no acúmulo de matéria orgânica no Cerrado. O fato de ser um solo que favorece os fluxos hídricos, há acúmulo de matéria orgânica em quantidades maiores na T5, no sopé da encosta, sobretudo por se tratar de um ponto de deposição da vertente.

De forma similar, a CTC oferece condições para se compreender a mineralogia e a química de um solo. Naturalmente, os solos arenosos apresentam

uma CTC mais baixa do que em solos argilosos (Embrapa, 2013). Esta característica está associada com o nível de intemperismo ao qual o solo se encontra. Com o aumento do grau de intemperismo, há uma mudança gradual de características de um solo, no sentido de torná-lo menos eletronegativos e, como consequência, mais eletropositivos, com mudanças, direta ou indiretamente ligadas a esse perfil de carga. Sua capacidade de troca catiônica (CTC) cai, a adsorção aniônica aumenta, diminui a saturação por bases, enquanto aumenta, gradualmente, a retenção de ânions, como o fosfato, o sulfato, o molibdato (Novais et al., 2007).

Os resultados de CTC (Figura 2g) indicaram que o teor muito baixo sugere a presença de muitos óxidos de ferro e alumínio. Em solos altamente intemperizados, os óxidos e hidróxidos, de uma forma geral, são bastante reativos, com o efeito de pH muito baixo, se torna responsável pela alta retenção de fosfato e de sulfato, comum também para solos ácidos, como observado por Casagrande et al. (2003).

Os perfis T3 e T4 (Figura 2g) apresentam resultados similares. O primeiro e o último apresentam uma CTC um pouco maior que os demais, muito possivelmente relacionada com o maior teor de matéria orgânica. Mesmo que de forma suave a CTC varia à medida que se aprofunda no perfil, indicando uma variação de concentração de bases.

Esse comportamento dos nutrientes é favorecido pela textura arenosa e conseqüentemente pela alta macroporosidade, como no caso dos Neossolos Quartzarênicos, em que esse processo pode ser potencializado, dada a baixa coesão entre as partículas e o baixo teor de agentes cimentantes (Sales et al., 2010).

Os resultados de volume total de poros encontrados por Carneiro et al. (2009) em estudo em Neossolos Quartzarênicos no Parque Nacional das Emas, com valores próximos de $0,42 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1}$, são similares aos encontrados neste estudo (Tabela 2).

Tabela 2. Atributos físicos do Neossolo Quartzarênico Órtico típico em topossequência na região de Mineiros, sudoeste goiano.

| Trincheiras | Horiz | Micro ⁽¹⁾ | Macro ⁽¹⁾ | VTP ⁽¹⁾ | Ds ⁽²⁾ | Inf ⁽³⁾ | Textura ⁽¹⁾ | | |
|-------------|-------|----------------------|----------------------|--------------------|-------------------|--------------------|------------------------|-------|-------|
| | | | | | | | Argila | Silte | Areia |
| T1 | A | 15,99ab | 24,59 ^a | 40,58b | 1,54 ^a | 167,89 | 10,0 | 4,0 | 86,0 |
| | AC | 15,33ab | 29,12b | 44,45a | 1,46b | | 12,0 | 5,0 | 83,0 |
| | C1 | 14,67ab | 30,96b | 45,63a | 1,41c | | 13,0 | 6,0 | 81,0 |
| | C2 | 14,60ab | 29,80b | 44,41a | 1,47b | | 14,0 | 7,0 | 79,0 |
| T2 | A | 23,10c | 19,92 ^a | 43,02a | 1,49ab | 89,04 | 15,0 | 6,0 | 79,0 |
| | AC | 18,89d | 25,10ab | 43,99a | 1,47b | | 13,0 | 5,0 | 82,0 |
| | CA | 19,37d | 25,88ab | 45,25a | 1,44b | | 16,0 | 7,0 | 77,0 |
| | C1 | 23,07c | 24,74ab | 47,82a | 1,40c | | 16,0 | 5,0 | 79,0 |
| T3 | C2 | 22,24c | 24,73ab | 46,97a | 1,35d | 145,76 | 19,0 | 8,0 | 73,0 |
| | A | 13,43 ^a | 29,98b | 43,41a | 1,54a | | 11,0 | 5,0 | 84,0 |
| | AC | 12,60 ^a | 29,24b | 41,84ab | 1,46bc | | 11,0 | 5,0 | 84,0 |
| | C1 | 12,02 ^a | 30,36b | 42,38ab | 1,35d | | 1,0 | 6,0 | 82,0 |
| T4 | C2 | 13,78 ^a | 28,82b | 42,60ab | 1,38cd | 140,65 | 13,0 | 7,0 | 80,0 |
| | A | 10,37 ^a | 30,08bc | 40,46b | 1,47b | | 7,0 | 3,0 | 90,0 |
| | C1 | 10,15 ^a | 31,00bc | 41,15b | 1,50a | | 10,0 | 4,0 | 86,0 |
| | C2 | 11,27 ^a | 30,06bc | 41,34ab | 1,48b | | 10,0 | 4,0 | 86,0 |
| | C3 | 12,69ab | 28,47b | 41,16b | 1,48b | | 11,0 | 6,0 | 83,0 |
| | C4 | 13,42ab | 30,12bc | 43,55a | 1,44b | | 13,0 | 7,0 | 80,0 |

Horiz = horizonte; Micro = microporosidade; Macro = macroporosidade; VTP = volume total de poros. ⁽¹⁾ Resultados apresentados em porcentagem. ⁽²⁾ Ds = Densidade do solo, resultados em g cm^{-3} . Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽³⁾ Infiltração de água no solo (mm min^{-1})

A densidade do solo tem efeito sobre o volume total de poros, que tem implicações na

permeabilidade e infiltração de água, e a resistência à penetração do solo,

constituindo parâmetros relacionados à qualidade física do solo (Reinert et al., 2006). Para solos arenosos, o índice crítico para o desenvolvimento radicular é $1,75 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (Corsini & Ferraudo, 1999). Neste estudo todos os resultados apontam para um solo com uma excelente dinâmica hídrica, com valores máximos de densidade de $1,54 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ e valores de macroporosidade em torno de 30% (Tabela 2).

A densidade do solo, de acordo com os estudos de Corsini & Ferraudo (1999), não apresenta valores críticos, entretanto há diferenças significativas em todas as trincheiras, com exceção da T4, mais homogênea (Tabela 2). Entretanto ao se analisar os resultados do segmento com pastagem (perfis T2, T3 e T4), nota-se uma clara variação em microporosidade, quando comparados ao perfil do topo T1, demonstrando dessa forma que a microporosidade tende a diminuir a jusante da topossequência.

Com exceção dos horizontes A dos perfis das trincheiras T1 e T2, a macroporosidade não muda ao longo da topossequência, fato corroborado pelo comportamento do volume

total de poros. Os resultados obtidos reforçam a classificação de Neossolo Quartzarênico órtico, por não oferecer resistência para percolação da água, dessa forma, a dinâmica físico-hídrica do terreno permite que a solução do solo alcance o setor terminal da encosta.

A resistência à penetração (RP) também contribui para assegurar essa dinâmica hídrica nos perfis, tanto vertical quanto lateralmente. Os menores valores de RP foram encontrados na T1 (0,99 MPa), o que pode ser atribuído ao maior teor de umidade e à ausência de pisoteio constante de animais. Freitas et al. (2012) em estudo de RP em Neossolos Quartzarênicos também encontraram valores de RP menores que 2,0 MP, e eles puderam constatar que os valores maiores ocorreram em áreas sob pastagem, resultado de uma carga animal diária recebida. Carneiro et al. (2009) também registraram que a resistência a penetração nas áreas de Cerrado foi cerca de $1,03 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ e em pastagem $1,06 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, o que corrobora com os resultados encontrados neste estudo (Figura 2i).

CONCLUSÕES

A área de estudo possui severas restrições para o uso agrícola, principalmente devido à elevada porosidade, sobretudo macroporosidade, à susceptibilidade à erosão hídrica e à baixa capacidade de retenção de água e de nutrientes, além da limitada reserva de nutrientes em profundidade.

Apesar do comportamento químico ser similar ao comumente encontrado no Cerrado, e em particular nos Neossolos Quartzarênicos, a topografia convexa e o declive local favorecem o aumento do potencial de perda e transferência de nutrientes para jusante por lixiviação interna na topossequência

relacionada com os fluxos hídricos verticais e laterais.

O cálcio, magnésio, potássio, fósforo e matéria orgânica diminuíram seus teores em profundidade em todas as trincheiras e aumentaram para jusante onde, em contrapartida, diminuiu o pH e aumenta o teor de alumínio. Os maiores teores de nutrientes em superfície (até 60cm de profundidade) estão relacionados ao manejo e matéria orgânica, já o alumínio em condições ácidas permaneceria imóvel e se concentraria, justificando seu aumento (relativo) a jusante em condições hidromórficas.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Goiás. Ao Alison Nunes pelas orientações e colaboração durante o campo. Aos colegas do Laboratório de Geomorfologia, Pedologia e Geografia Física (LABOGEF), do Instituto de Estudos Sócio-Ambientais da mesma instituição. A CAPES pelas bolsas concedidas aos longo dos estudos.

REFERÊNCIAS

1. ALBUQUERQUE, J.A.; ALMEIDA, J.A.; GATIBONI, L.C.; ELTZ, F.L.F. Atividades agrícolas de produção em solos frágeis no Sul do Brasil. In: Tópicos em Ciência do Solo, SBSCS, vol. 7:367-403, 2011
2. ALVES, T.M.; CASTRO, S.S. Vulnerabilidade e risco à contaminação dos solos da área de recarga do aquífero Guarani no Estado de Goiás. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 29, p. 135-150, 2009
3. BOULET, R. Toposéquence de sols tropicaux en Haute-Volta équilibres dynamiques et bioclimats. **Cah. Orston, Sér. Pédol.**, v.13, n.1, p.3-6, 1975.
4. BOULET, R.; HUMBEL, F. X.; LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie en pédologie. II- une méthode d'analyse prenant en compte l'organisation tridimensionnelle des couvertures pédologiques. **Cah. Orston, Sér. Pédol.**, v.19, n.4, p.323-339, 1982.
5. BROGGI, F.; OLIVEIRA, A.C.; FREIRE, F. J.; FREIRE, M.B.G.S.; NASCIMENTO, C.W.A. Fator capacidade de fósforo em solos de Pernambuco mineralogicamente diferentes e influência do pH na capacidade máxima de adsorção. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v.35, n.1, p.77-83, 2011.
6. CABACINHA, C. D.; CASTRO, S. S. Relationships between floristic diversity and vegetation indices, forest structure and landscape metrics of fragments in Brazilian Cerrado. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 257, n. 10, p. 2157-2165, 2009.
7. CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D. de; PAULINO, H. B.; SALES, Luiz Eduardo de Oliveira; VILELA, Laíze Aparecida Ferreira. Atributos indicadores de qualidade em solos de Cerrado no entorno do Parque Nacional das Emas, Goiás. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 6, p. 1857-1868, nov./dec. 2013.
8. CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D. de; REIS, E. F. dos; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, Watson Rogério de. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n.1, p. 147-157, 2009.
9. CASAGRANDE, J. C.; ALLEONI, L. R. F.; CAMARGO, O. A.; BORGES, M. Adsorção de fosfato e sulfato em solos com cargas elétricas variáveis. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 51-59, 2003.
10. CASTRO, S.S. Erosão hídrica na alta bacia do Rio Araguaia: Distribuição, condicionantes, origem e dinâmica atual. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 17, n.1, p. 38-60, 2005.
11. CASTRO, S.S.; ABDALA, K.; APARECIDA SILVA, A.; BORGES, V. A expansão da cana-de-açúcar no Cerrado e no Estado de Goiás: Elementos para uma análise espacial do processo. **Boletim Goiano de Geografia (Online)**, v. 30, p. 171-191, 2010.
12. CASTRO, S. S.; COOPER, M.; SANTOS, M. C.; VIDAL-TORRADO, P. Micromorfologia do solo: Bases e aplicações. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S., ALVAREZ, V. H. (Eds). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v. 3. p.107-164.
13. CASTRO, S.S.; SALOMÃO, F.X.T. Comportamento morfopedológico e sua aplicação: **considerações metodológicas**. **Geosp, São Paulo**, v. 7, p. 27-36, 2000.
14. CORSINI, P.C.; FERRAUDO, A.S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n.1, p.289-298, 1999.
15. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Brasília, DF). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. rev. ampl. Brasília: EMBRAPA Cerrados, 2013, 353p.
16. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. Atual. Rio de Janeiro, EMBRAPA Solos, 2011. 212p.
17. FARIA, A. F. G.; SANTOS, A. C.; SANTOS, T. M.; BATISTELA FILHO, F. Influência do manejo do solo nas propriedades químicas e físicas em topossequência na bacia do rio Araguaia, Estado do Tocantins. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 517-524, 2010.
18. FERNANDES BARROS, O. N. **Análise estrutural e cartografia detalhada dos solos em Marília**, SP: ensaio metodológico. 1 v. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 1986
19. FERREIRA, J. E. S.; SILVA, J. L. S. da.; STRIEDER, A. J.; PIRES, C. A. F. Análise estatística da concentração de potássio obtida por aerolevantamentos geofísicos em diferentes formações geológicas na Região de Santa Maria (RS). **Revista Pesquisa em Geociências**, Porto Alegre, vol. 34, n. 2, p. 99-107, maio/jun., 2008.
20. FREITAS, I. C.; SANTOS, F. C. V.; CUSTODIO FILHO, R. O.; SILVA, N., R.; CORRECHEL, V. Resistência à penetração em Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes formas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 12, p. 1275-1281, 2012.
21. FURTINI NETO, A. E. F.; VALE, F. R.; RESENDE, A. V.; GUILHERME, L. R. G.; GUEDES, G. A. A. **Fertilidade do Solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, Curso de Pós-Graduação "Lato-Sensu", 2001. 252 p.
22. GOMES, M. A. F.; PEREIRA, A. S.; QUEIROZ, S. C. N.; FERRACINI, V. L.; JARDIM, I. C. S. F.; DIOGO, A. Movimento do herbicida imazetapir em um Neossolo Quartzarênico típico e em um Latossolo de textura média das nascentes do rio Araguaia, município de Mineiros (GO). **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 18, n. 0, p.116-123, 2008.
23. IBGE. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual Técnico de Pedologia** 2.ed. Rio de Janeiro, 2007. (Manuais Técnicos em Geociências, 4).
24. LIMA, D. A. L. L. **Estrutura e expansão da agroindústria canavieira no sudoeste goiano: impactos no uso do solo e na estrutura fundiária a partir de 1990**. 2010. 248 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Econômico) - Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.
25. MARIA, I.C. de; ROSSETTO, R.; AMBROSANO, E.J.; CASTRO, O.M. de. Efeito da adição de diferentes fontes de cálcio no movimento de cátions em colunas de solo. **Scientia Agrícola**. Piracicaba, v.50, n1, p. 87-98, fev./mai. 1993.
26. MARINHO, G.V.; CASTRO, S.S.; CAMPOS, A.B. de. Hydrology and Gully processes in the upper Araguaia river basin, Central Brazil. **Zeitschrift für Geomorphologie. Supplementband**, v. 145, p. 119-145, 2006.
27. MEGONIGAL, J.P., HINES, M.E. e VISSHCER, P.T. Anaerobic Metabolism: Linkages to trace gases and aerobic processes. Pag. 317 – 424 In: Schlesinger, W.H. (editor). **Biogeochemistry**. Elsevier – Pergamon, Oxford, UK, 2004.

27. MELO, V.F.; CORRÊA, G.F.; MASCHIO, P.A.; RIBEIRO, A.N.; LIMA, V.C. Importância das espécies minerais no potássio total da fração argila de solos do triângulo mineiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 807 – 819, 2003.
28. MOURA, C. O. de. **Geologia do sudoeste do Estado de Goiás: integração de dados geológicos e aerogeofísicos de alta densidade**. 2007. 135 f. Dissertação (Mestrado em Geologia)-Universidade de Brasília, Brasília, 2007.
29. NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, 2007, 1017p.
30. OLIVEIRA, V.A.; CALIL, P.M.; BORGES, L.C.; SILVA, M.T.G.; NOGUEIRA, S.A.J.; AZEVEDO, W.R.; ALMEIDA, L.L.C. **Diagnóstico agroambiental do entorno do Parque Nacional das Emas: 1ª fase- pedologia, aptidão agrícola e uso das terras**. Goiânia: Agência Rural, 2003. 227p (Documento – 02, Agência Rural)
31. OLIVEIRA, D.; CASTRO, S. S.; FERREIRA, R. P. D. Indicadores macro e micromorfológicos da circulação hídrica dos solos de uma toposseqüência em São Pedro-SP. **Geosul (UFSC)**, Florianópolis, v. 13, n. 27, p. 482-487, 1998.
32. PEREIRA, J. E. S.; SILVA, J. L. S.; STRIEDER, A. J.; PIRES, C. A. F. Análise estatística da concentração de potássio obtida por aerolevamentos geofísicos em diferentes formações geológicas na região de Santa Maria (RS). **Revista Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, RS, v.34, n.2, p. 99-107, 2007
33. PAIVA, A.O.; REZENDE, A.V.; PEREIRA, R.S. Estoque de carbono em Cerrado *Sensu stricto* do Distrito Federal. **Revista Árvore**, Viçosa – MG, v.35, n.3, p.527-538, 2011.
34. PEREIRA, M.F.S.; NOVO JUNIOR, J.; SÁ, J.R.; LINHARES, C.F.; BEZERRA NETO, F.; PINTO, R.S. Ciclagem do carbono do solo nos sistemas de plantio direto e convencional. **Revista ACSA**. v.9; n.2; p. 21-32, abr-jun, 2013
35. PIZZEGHELLO, D.; BERTI, A.; NARDI, S.; MORARI, F. Phosphorus forms and P-sorption properties in three alkaline soils after long-term mineral and manure applications in north-eastern Italy. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 141 (2011) 58–66.
36. REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; VEIGA, M.; SUZUKI, L.E.A.S. Qualidade física dos solos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16., 2006. **Anais...** Aracaju, SBCS, 2006. CD-ROM
37. SALES, L. E. de O.; CARNEIRO, M. A. C., SEVERIANO, E. da C., OLIVEIRA, G. C. de, FERREIRA, M. M. Qualidade física de neossolo quartzarênico submetido a diferentes sistemas de uso agrícola. **Ciência e agrotecnologia**. Lavras, v. 34, n. 3, June. 2010
38. SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C. & ANJOS, L.H. Manual de descrição e coleta de solos no campo, 6.ed. Viçosa, MG, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 100p. 2013.
39. SCOPEL, I.; PEIXINHO, D. M.; SOUZA, M. S.; MARIANO, Z. F.; ASSUNÇÃO, H. F. Formação de areais e perspectivas de uso e manejo de neossolos quartzarênicos em Serranópolis (GO). **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 25, n. 1-2, p. 11-27, 2005.
40. SIC/SGM/FUNMINERAL, Secretaria de Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. **Mapa Geomorfológico do Estado de Goiás: Relatório Final**. I. LATRUBESSE, Edgardo M., 2005, 81p.(a)
41. SIC/SGM/FUNMINERAL, Secretaria de Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. **Caracterização Climática do Estado de Goiás**. I. SILVA, S.C. da; II. SANTANA, M.N. P.; III. PELEGRINI, J.C. Série Geologia e Mineração, n.3, 2005, 133p.(b)
42. SILVA, A.A.; CASTRO, S.S. Potencial e risco à compactação dos solos da microrregião de Quirinópolis, Sudoeste do Estado de Goiás. **Revista Territorial**, v. 2, p. 106-127, 2013.
43. SILVA NETO, S. P. da; SANTOS, A. C. dos; SILVA, J. E. C. da; DIM, V. P.; ARAÚJO, A. dos S.. Atributos químicos de um Neossolo Quartzarênico sob campim marandu adubado com resíduo líquido de frigorífico. **Semina: Ciência Agrícola**, Londrina, v. 34, n.3, p. 1099-1110, mai/jun 2013.
44. SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M.C.; SCOPEL, E.; COSTA JUNIOR, C.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v.31; n.4; p. 709-717, 2009
45. SOARES, J. L. N.; ESPINDOLA, C. R.; CASTRO, S. S. de. Alteração física e morfológica em solos cultivados sob sistema tradicional de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 6, Dec. 2005.
46. SOUSA, M.S.; SCOPEL, I.; PEIXINHO, D.M.; CARVALHO, N.R. Compartimentação geomorfológica do sudoeste de Goiás e relação com a situação de areais. VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/ Regional Conference on Geomorphology. Geomorfologia Tropical e Subtropical: processos, métodos e técnicas. p.6-10, Goiânia, 2006, **Anais...** Goiânia, SINAGEO, 2006. CD-ROM.
47. STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 15, p. 229-235, 1991.
48. WERLE, R.; GARCIA, R.A.; ROSOLEM, C.A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p. 2297 – 2305, 2008
49. WU, F.T.; CAETANO-CHANG, M.R. Estudo mineralógico dos arenitos das Formações Pirambóia e Botucatu no centro-leste do Estado de São Paulo. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 13, n.1, p.58-68, 1992
50. ZUO, X.; ZHAO, H.; ZHAO, X.; ZHANG, T.; GUO, Y.; WANG, S.; DRAKE, S. Spatial pattern and heterogeneity of soil properties in sand dunes under grazing and restoration in Horqin Sandy Land, Northern China. **Soil & Tillage Research**, v. 99, n. 2, p. 202-212, 2008.

*Manuscrito recebido em: 12 de Fevereiro de 2015
Revisado e Aceito em: 13 de Maio de 2015*