

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**SELETIVIDADE DOS TÉRMITAS POR CONSTITUINTES DO SOLO NA
CONSTRUÇÃO DOS NINHOS**

**Suane de Souza Franco Lima
(Dissertação)**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**SELETIVIDADE DOS TÉRMITAS POR CONSTITUINTES DO SOLO NA
CONSTRUÇÃO DOS NINHOS**

SUANE DE SOUZA FRANCO LIMA
Engenheira Agrônoma (UERGS)

Dissertação apresentada como um
dos requisitos à obtenção do Grau
de Mestre em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS) Brasil
Abril de 2021

CIP - Catalogação na Publicação

Lima, Suane de Souza Franco
SELETIVIDADE DOS TÉRMITAS POR CONSTITUINTES DO SOLO
NA CONSTRUÇÃO DOS NINHOS / Suane de Souza Franco Lima.
-- 2021.
52 f.
Orientador: Alberto Vasconcellos Inda Junior.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de
Pós-Graduação em Ciência do Solo, Porto Alegre, BR-RS,
2021.

1. Mineralogia. 2. Termitologia. 3. Cupins. 4.
Difratometria de raios X. 5. Sedimentologia. I.
Junior, Alberto Vasconcellos Inda, orient. II.
Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

SUANE DE SOUZA FRANCO LIMA
Engenheira Agrônoma (UERGS)

DISSERTAÇÃO

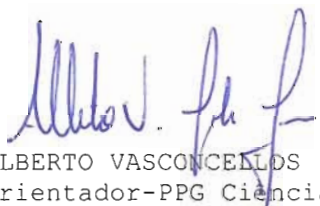
Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

MESTRE EM CIÊNCIA DO SOLO

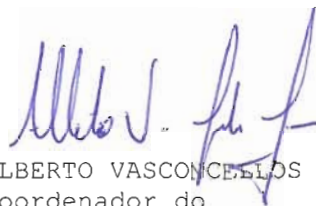
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em: 01.04.2021
Pela Banca Examinadora

Homologado em: 26.09.2022
Por



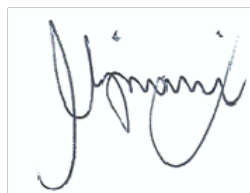
ALBERTO VASCONCELLOS INDA JUNIOR
Orientador-PPG Ciência do Solo



ALBERTO VASCONCELLOS INDA JUNIOR
Coordenador do
Programa de Pós-Graduação em
Ciência do Solo

ENILSON LUIZ SACCOL DE SÁ
UFRGS
(MConf UFRGS)

PAULO CÉSAR DO NASCIMENTO
UFRGS
(MConf UFRGS)



JESSÉ RODRIGO FINK
IFPR
(MConf UFRGS)

CARLOS ALBERTO BISSANI
Diretor da Faculdade
de Agronomia

*"Las mejores y más evolucionadas
tecnologías son aquellas que no destruyen
la base misma sobre la cual vivimos."*

Vandana Shiva

AGRADECIMENTOS

A Deus por toda força, fé e determinação na busca de mais essa conquista.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo e a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) pela oportunidade para a realização do mestrado, utilização da infraestrutura e por todo o conhecimento transmitido.

Ao meu orientador, professor Alberto Inda, pela orientação, confiança, paciência e todo conhecimento transmitido durante este período.

Aos demais professores por todo conhecimento transmitido.

As meninas da salinha, Tati, Edsleine e Letícia pela recepção, amizade, conversas e trocas de experiência que foram fundamentais. A Tati também pela concessão das amostras e todo auxílio durante a execução do projeto. A Aná e a Jéssica Pereira por toda ajuda nas análises. A bolsista de iniciação científica Keyrauan Taha, pela dedicação e auxílio nas análises. Aos demais colegas e amigos do PPG que de alguma forma contribuíram durante esta caminhada.

A minha mãe Angela e irmão Vinícius, por compreenderem minha ausência e serem meus companheiros incansáveis, os quais prestaram apoio incondicional ao longo de mais esta jornada.

Ao meu namorado Daniel, por toda compreensão e companheirismo ao estar fazendo parte desta etapa em minha vida.

A minha amiga Jéssica, pela amizade e parceria vinda desde a graduação, toda contribuição, incentivo e apoio em todos os momentos.

A todos os meus amigos que estiveram comigo sempre comigo, me incentivando, apoiando, torcendo e acreditando que eu conseguiria. Também por tornarem os dias mais leves.

Ao CNPq pelo financiamento da bolsa.

SELETIVIDADE DOS TÉRMITAS POR CONSTITUINTES DO SOLO NA CONSTRUÇÃO DOS NINHOS¹

Autora: Suane de Souza Franco Lima

Orientador: Prof. Alberto Vasconcellos In da Junior

RESUMO

A composição mineralógica é um dos fatores que mais gera influência sob os fenômenos físicos e químicos do solo, no entanto, existem poucos estudos sobre a influência dos térmitas na mineralogia do solo no processo de nidificação. Frente a isso, a hipótese do estudo é de que os térmitas são seletivos para materiais do solo e podem alterar as características mineralógicas e físicas destes materiais durante a construção de seus ninhos. Objetivou-se investigar a seletividade dos térmitas para subfrações da fração areia total e para a fração argila total; alterações nos óxidos de ferro magnéticos; alterações mineralógicas nas frações terra fina, argila e argila desferrificada; e alterações na concentração e mineralogia dos óxidos de ferro. Para isso, foram coletadas amostras de solo e termiteiro de seis locais. Foram avaliadas a sedimentologia da fração areia, a composição mineralógica nas frações TFSA, argila e argila desferrificada por difratometria de raios x e o teor de óxidos de ferro pedogênicos e de baixa cristalinidade. A sedimentologia da fração areia demonstrou diferenças sutis entre solo e termiteiro quando em locais mais arenosos, sugerindo que nessas condições os térmitas são seletivos por partículas de areia de menor tamanho. A suscetibilidade magnética foi superior no solo nas amostras mais argilosas, enquanto nos solos de textura arenosa os valores foram mais elevados nos materiais dos termiteiros. A concentração de Fe relativo aos óxidos de ferro pedogênicos é maior nos termiteiros em relação aos solos adjacentes. As reflexões da caulinita são mais intensas nos difratogramas dos materiais do termiteiro nos locais onde o solo é originalmente mais arenoso. Os resultados do estudo confirmam que os térmitas são seletivos por partículas minerais de menor tamanho na confecção de seus ninhos, principalmente em locais onde os solos são mais arenosos.

Palavras-chave: Mineralogia, termitologia, cupins, difratometria de raios x, sedimentologia.

¹ Dissertação de mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (39 p.) Abril, 2021.

TERMITE SELECTIVITY BY SOIL CONSTITUENTS IN NEST CONSTRUCTION²

Author: Suane de Souza Franco Lima

Adviser: Prof. Alberto Vasconcellos Inda Junior

ABSTRACT

The mineralogical composition is one of the factors that generates the most influence on the physical and chemical phenomena of the soil, however, there are few studies on the influence of termites on soil mineralogy in the nesting process. Given this, the hypothesis of the study is that termite organisms are selective for soil materials and can alter the mineralogical and physical characteristics of these materials during the construction of their nests. The objective was to investigate the termite selectivity for subfractions of the total sand fraction and for the total clay fraction; changes in magnetic iron oxides; mineralogical changes in the fine earth, clay and iron-free clay fractions; and changes in the concentration and mineralogy of iron oxides. For this, samples of soil and nests were collected in six environments. The sedimentology of the sand fraction was evaluated, mineralogical composition in the TFSA, clay and iron-free clay fractions by X-ray diffraction and the content of pedogenic and low crystallinity iron oxides. The sedimentology of the sand fraction showed subtle differences between soil and nests when in more sandy environments, suggesting that under these conditions termites are selective for smaller sand particles. The magnetic susceptibility was higher in the soil in the more clayey environments, while in sandy soils the values were higher in the nest materials. The concentration of Fe relative to pedogenic iron oxides is higher in termite mounds than in adjacent soils. The reflexes of kaolinite are more intense in the diffractograms of termite mound materials in environments where the soil is originally sandy. The results of the study confirm that the termite organisms are selective for smaller mineral particles in the making of their nests, especially in environments where the soils are originally more sandy.

Keywords: Mineralogy, thermitology, termites, x-ray diffraction, sedimentology.

²Master's Dissertation in Soil Science. Graduate Program in Soil Science, Faculty of Agronomy, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (39p.) April, 2021.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.2 Térmitas como agentes de intemperismo.....	5
2.3 Alterações no material de solo geradas no processo de nidificação dos térmitas.....	6
2.4 Sedimentologia da fração areia	8
2.5 Suscetibilidade magnética (χ).....	10
2.6 Mineralogia	11
3. MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1 Coleta e preparo das amostras	13
3.2 Sedimentologia da fração areia	15
3.3 Suscetibilidade magnética (χ).....	16
3.4 Dissoluções seletivas dos óxidos de ferro	16
3.5 Difratomia de raios X (DRX)	17
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
4.1 Sedimentologia da areia	19
4.2 Suscetibilidade magnética (χ).....	23
4.3 Dissoluções seletivas dos óxidos de ferro	24
4.4 Difratomia de raios X.....	26
5. CONCLUSÕES	34
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

RELAÇÃO DE TABELAS

Tabela 1. Código de identificação das amostras, local de coleta, material de origem e teor de argila dos solos.....	14
Tabela 2. Parâmetros granulométricos da areia dos materiais de solo (S) e termiteiros (T).....	21
Tabela 3. Valores de suscetibilidade magnética determinados em baixa (χ_{LF}) e alta (χ_{HF}) frequência na fração terra fina dos materiais de solos e de ninhos.	24
Tabela 4. Teores de ferro e alumínio na estrutura dos óxidos de ferro pedogênicos totais (Fed e Ald) e de baixa cristalinidade (Feo e Alo).	25
Tabela 5. Relação termiteiro-solo (T/S) dos elementos extraídos nas dissoluções seletivas nos materiais dos seis locais estudados.	26

RELAÇÃO DE FIGURAS

Figura 1. Medidas de assimetria baseadas nas relações entre média, mediana e moda.....	9
Figura 2. Medidas de curtose de acordo com a agudez das curvas dada pela distribuição de frequências dos diâmetros.....	10
Figura 3. Locais de coleta dos solos e termiteiros.	13
Figura 4. Provetas para coleta de argila contendo amostras dos doze locais estudados.	15
Figura 5. Conjunto de peneiras (a) e agitador mecânico (b) utilizados no estudo sedimentológico da areia.	16
Figura 6. Frequência da distribuição de partículas da fração areia nos materiais de solo (S) e termiteiro (T) dos seis locais.	22
Figura 7. Curvas de frequência acumulada da distribuição de partículas da fração areia nos materiais de solo (S) e termiteiro (T) dos seis locais.....	23
Figura 8. Difratogramas de raios x da fração terra fina seca ao ar dos materiais de solo (S) e termiteiro (T) e o difratograma diferencial de raios x resultante (T-S) dos seis locais estudados.....	28
Figura 9. Difratogramas de raios x da fração argila dos materiais de solo (S) e termiteiro (T) e o difratograma diferencial de raios x resultante (T-S) de cinco locais estudados.	29
Figura 10. Difratogramas de raios x da fração argila desferrificada dos materiais de solo (S) e termiteiro (T) e o difratograma diferencial de raios x resultante (T-S) de quatro locais estudados.	30
Figura 11. Difratogramas diferenciais de raios x das frações argila total e argila desferrificada dos materiais de solo (St-Sd) e termiteiro (Tt-Td) e o difratograma diferencial de raios x resultante [(St-Sd)-(Tt-Td)] de dois locais estudados (RS e EA).....	32

Figura 12. Difratomogramas diferenciais de raios x das frações argila total e argila desferrificada dos materiais de solo (St-Sd) e termiteiro (Tt-Td) e o difratograma diferencial de raios x resultante [(St-Sd)-(Tt-Td)] de dois locais estudados (MG e PA).33

1. INTRODUÇÃO

O solo é um sistema em constante transformação, originado a partir da interação de seus fatores de formação e dos processos pedogenéticos atuantes. Tais processos ocorrem naturalmente em todos os solos em diferentes escalas de tempo, dado o intemperismo natural das rochas, ocasionando uma série de alterações físicas, químicas e mineralógicas que resultam na neoformação de minerais (Lepsch, 2016; Santos *et al.*, 2018). Em seu ambiente natural, sem intervenção, o solo, assim como todo sistema, tende a um equilíbrio dinâmico (Azevedo *et al.*, 1996; Pereira, 2018)). No entanto, a ação de organismos (animais, plantas, homem) pode causar mudanças no pedoambiente e, conseqüentemente, no equilíbrio do sistema solo, onde alterações físicas, químicas e mineralógicas podem vir a ocorrer (Fink *et al.*, 2014; Bertolazi *et al.*, 2017).

Os organismos possuem uma forte e importante contribuição no processo de formação do solo, refletida no aporte e decomposição de matéria orgânica, no fracionamento e transporte de partículas e resíduos, na alteração de moléculas orgânicas e minerais, na estruturação do solo, no armazenamento de água e na retenção de nutrientes (Lepsch, 2016). Além disso, devido à sensibilidade da fauna edáfica a modificações no pedoambiente, os organismos habitantes do solo são considerados importantes bioindicadores de qualidade do solo (Baretta *et al.*, 2011).

Dentre os organismos habitantes do solo, os térmitas, também conhecidos como cupins, compreendem um grupo de expressiva importância. No mundo são registradas 2.800 espécies e em torno de 320 ocorrem no Brasil. Constituem um dos grupos mais importantes da fauna edáfica, visto que sua ação reflete diretamente na estrutura do solo. Predominam em zonas tropicais,

mas também podem ocorrer em zonas de clima temperado e desertos. São insetos organizados em colônias subdivididas em castas, onde cada indivíduo desempenha uma função tendo em vista aspectos morfofisiológicos e sua especialização (Baretta *et al.*, 2011; Constantino, 2012).

No Brasil, embora os cupins-praga sejam minoria dentre as espécies, em torno de 10%, essa ordem de insetos é popularmente conhecida como praga (Lima e Costa-Leonardo, 2007; Constantino, 2012). Os danos são comumente associados a degradação do solo, depreciação da paisagem e redução da área útil. No entanto, alguns autores indicam que mesmo com altos níveis de infestação, até 672 ninhos ha⁻¹, os termiteiros não reduzem as áreas de pastagem, ocupando valores em torno de 0,4 a 1% de área útil (Czepak *et al.*, 2003; Oliveira *et al.*, 2011; Lima, 2012). Além disso, a presença dos ninhos não foi associada como indicadora de degradação química e biológica do solo, nem mesmo acidez do solo (Lima, 2012). Em contrapartida, o papel que desempenham benéficamente no solo é primordial, desenvolvendo um importante serviço ecossistêmico.

Conhecidos como engenheiros do ecossistema (Lavelle, 1997) as atividades que os térmitas desenvolvem para construção e manutenção de seus ninhos melhoram algumas condições do solo como por exemplo: (i) a agregação e cimentação de partículas, pois no processo de construção dos ninhos as partículas de solo são coletadas e cimentadas com saliva e fezes, a fim de conferir maior estabilidade e resistência à estrutura; (ii) a aeração, o crescimento de raízes e a infiltração de água, pela dinâmica de forrageamento, que consiste na localização e exploração de uma fonte de alimento pelos térmitas, onde uma rede de túneis e galerias é construída em subsuperfície; (iii) a movimentação de partículas, em função da bioturbação, onde partículas mais finas são retiradas em profundidade e trazidas para superfície; e (iv) a ciclagem de nutrientes, também pela questão da bioturbação, com maior acúmulo de partículas de argila e nutrientes nos ninhos, onde esse material por ação antrópica ou mesmo natural será redistribuído no solo (Brown *et al.*, 2000; Brady e Weil, 2009; Constantino, 2012; Jouquet *et al.*, 2002a).

Ainda assim, a ação dos térmitas no solo é um assunto pouco abordado, em comparação a outros organismos edáficos. No Brasil, a questão

é ainda mais carente, especialmente no que se refere ao efeito dos térmitas sobre a mineralogia do solo. Em suma, como todos os demais organismos que vivem no solo, a contribuição dos térmitas tem importância no desenvolvimento dos solos, pois uma vez que modificam o ambiente edáfico, afetam o equilíbrio do sistema e podem ocasionar alterações mineralógicas e, conseqüentemente, o comportamento químico e físico dos solos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Formação do solo

O solo se forma a partir de cinco principais fatores de formação, sendo eles: material de origem, clima, tempo, organismos e relevo (Lepsch, 2016). Gradualmente, como resultado da interação entre fatores de formação, expressa na forma de processos pedogenéticos, o material de origem se altera pela ação do intemperismo, que pode ser físico, químico e/ou biológico (Pereira, 2018).

O intemperismo físico consiste na desintegração da rocha a partir de processos como por exemplo a expansão e contração térmica, a penetração de raízes ou o congelamento da água em fendas, e não acarretam alterações químicas e/ou mineralógicas nos produtos de sua ação. O intemperismo químico, também chamado de mineralógico, se expressa na alteração química e mineralógica (dissolução-neoformação e transformações no estado sólido) da rocha e seus minerais constituintes e mesmo de minerais pedogênicos através de reações químicas como a hidrólise, a oxidação e redução e a complexação (Ollier e Clayton, 1984; Suguio, 2003). O intemperismo biológico se dá pela combinação de processos de intemperismo físico e químico por ação de animais e vegetais. Consiste na ação de organismos vivos sobre o solo, fracionando ou modificando partículas minerais sólidas através, por exemplo, da escavação e fragmentação por animais, exsudados das raízes das plantas e efeito de cunha das raízes. Com a redução do diâmetro das partículas, a área superficial específica de contato aumenta, acelerando, conseqüentemente, as reações químicas do intemperismo (Ollier e Clayton, 1984; Suguio, 2003; Nobile, 2008) .

Dentre as formas pelas quais os organismos edáficos podem modificar o ambiente solo, está a dinâmica de movimentação destes no solo, a qual pode ocorrer de quatro formas: através da ingestão de solo, atravessando todo trato intestinal e sendo eliminado nos excrementos, acarretando na formação de galerias; pelo carreamento de pequenas partículas de solo ou microagregados, de acordo com o tamanho da mandíbula de cada animal, podendo alterar características pontualmente, como a textura e umidade; pela pressão de perfuração de invertebrados como os diplópodes, que possuem uma cápsula cefálica calcificada, a qual é pressionada contra o solo, ocasionando a perfuração e, por escavação, atividade muito comum em artrópodes de forma geral (Correia e Oliveira, 2005).

2.2 Térmitas como agentes de intemperismo

Dentre os organismos edáficos, os térmitas são importantes agentes de formação do solo. Pertencentes a ordem Blattodea, subordem Isoptera, são insetos eussociais, vivendo em colônias com um sistema de castas polimórficas, ou seja, indivíduos diferenciados morfológicamente dentro de uma mesma colônia. As castas compreendem reprodutores, operários e soldados. Periodicamente, indivíduos alados partem com o objetivo de fundar novas colônias. Os operários são a casta mais populosa, responsáveis pela construção do ninho, coleta de alimento e alimentação dos demais (Gullan e Cranston, 2017; Constantino, 2012).

Devido aos hábitos alimentares e construtores, estes organismos captam partículas de solo em profundidade e as depositam em superfície (Jouquet *et al.*, 2011; Constantino, 2012). O limite de tamanho das partículas que os térmitas conseguem carregar em suas mandíbulas não ultrapassa 0,5 mm. Partículas de menor diâmetro são preferencialmente consumidas pelos térmitas. Sua estrutura mandibular sugere uma possível capacidade de manipular ou triturar partículas maiores ou agregados minerais. Logo, no processo de bioturbação, partículas mais grosseiras se acumulam em profundidade e, partículas mais finas são carreadas para camadas mais superficiais do solo (BRAUMAN *et al.*, 2000; Miklós, 2012).

Os ninhos variam de simples túneis a estruturas maiores e mais complexas, conspícuas, que são os chamados termiteiros ou cupinzeiros (Constantino, 2012). A construção destas estruturas consiste basicamente em três componentes: partículas de solo cimentadas pela saliva e fezes dos cupins, estruturas fecais e estruturas mistas de partículas de solo e material orgânico das fezes. O ninho ainda é revestido com uma camada de material fecal constituído de material orgânico e pequenas partículas de solo (Lee e Wood, 1972; Holt e Lepage, 2000; Savian, 2009). Os mecanismos utilizados pelos térmitas na construção dos ninhos fazem com que o solo seja estabilizado antes de sua utilização, conferindo resistência (Elinwa, 2006; Brazetti, 1998) (Adepegba, 1979;).

Brazetti (1998) evidenciou que compostos orgânicos produzidos pelos cupins e utilizados na estabilização das partículas são capazes de modificar características físicas, químicas e mineralógicas do solo original, no entanto, o mesmo não descreveu estes compostos. Já Adepegba (1979) analisou as substâncias orgânicas expelidas pelos térmitas construtores e obteve em seus resultados que a substância apresentava características cimentantes, sendo composta de ácido acético e proteína 2-amino glicose, ambos produto da hidrólise da quitina, a qual é componente da estrutura esquelética de artrópodes (Campana-Filho *et al.*, 2007) e material proctodael.

Segundo Kaschuk *et al.* (2006), das quase 3 mil espécies conhecidas, cerca de 75% são classificadas como geófagos, térmitas que se alimentam de húmus acrescido de minerais de argila. A dieta dos térmitas geófagos é composta apenas por húmus misturado com material mineral, no entanto, não se sabe quais componentes nutritivos são utilizados, bem como as reações químicas do metabolismo envolvidas e o papel da microflora intestinal na digestão. O intestino dos térmitas é compartimentado, sendo que ao longo das regiões intestinais, o pH varia de extremamente alcalino (pH 11-12,5) à ácido (pH ~ 5,0). Frente a isso, a matéria orgânica do solo aderida a agregados minerais de argila quando exposta a este ambiente incubatório alcalino, poderá dessorver de forma eficiente os compostos húmicos do solo (Brune e Köhl, 1996).

2.3 Alterações no material de solo geradas no processo de nidificação

dos térmitas

A argila é um componente importante na construção dos termiteiros, processo denominado nidificação. Por suas propriedades cimentantes e capacidade de retenção de água, algumas espécies de térmitas cultivadores de fungo selecionam partículas visando a manutenção da temperatura e umidade interna dos ninhos (Jouquet *et al.*, 2002a; Jouquet *et al.*, 2002b). No processo de nidificação, os cupins podem mover de 300 a 1200 kg de solo por hectare, impactando positivamente na produtividade e fertilidade do solo (Brady e Weil, 2009).

Alguns trabalhos demonstram alterações na concentração de nutrientes, apresentando-se superiores nos termiteiros quando comparados aos solos adjacentes. O solo captado em profundidade pelos térmitas possui um conteúdo mais elevado de argila e, em geral, maiores concentrações de cátions básicos, podendo enriquecer o solo em superfície com nutrientes (Holt e Lepage, 2000) Teores mais elevados de carbono e nitrogênio, seleção de partículas e aumento no conteúdo de argila nos termiteiros em relação ao solo adjacente foram observados por Jouquet *et al.* (2002a; 2002b; 2005). Abe *et al.* (2011) observaram aumentos significativos nos teores de nitrogênio total, cálcio trocável, magnésio e potássio no conteúdo dos ninhos em comparação ao solo não nidificado. Em seu trabalho, Kaschuk *et al.* (2006) demonstraram aumento no conteúdo de potássio, fósforo, cálcio, magnésio e carbono orgânico no material interno dos ninhos em comparação ao solo. Rong e Brune (2006) também evidenciaram que a atividade dos térmitas pode contribuir significativamente na disponibilidade de nitrogênio para o crescimento das plantas, bem como sua contribuição para os fluxos de nitrogênio em solos tropicais.

Sileshi *et al.* (2010), em uma meta-análise, evidenciaram enriquecimento de 75 e 27 % para argila e silte, respectivamente, nos termiteiros em comparação ao solo adjacente. Além disso, algumas espécies contribuíram para o aumento no teor de alguns nutrientes: 16% para carbono, nitrogênio total 42% a mais, cálcio trocável 232% a mais, 306% para potássio, 154% para magnésio e 78% a mais para sódio e, ainda, aumento de 8% no pH

do material dos ninhos. Esses incrementos podem estar relacionados ao incremento de partículas de tamanho argila verificados nos ninhos.

Vargas Niño *et al.* (2015) constataram em seu estudo que a presença dos termiteiros melhora a fertilidade do solo e atua na maior estabilização na matéria orgânica, refletindo no estoque de carbono dos solos estudados. Em áreas de clima seco cultivadas com trigo, os autores obtiveram uma produção superior em 36% quando na presença de cupins e formigas quando comparadas às áreas de solo nas quais foi realizado o controle desses insetos. Tais resultados foram relacionados à maior infiltração de água por meio de seus túneis, pelo processo do forrageamento, e ao aumento no suprimento de nitrogênio mineral no solo (Evans *et al.*, 2011). Bonachela *et al.* (2015) evidenciaram em seu trabalho que os termiteiros melhoraram a resiliência de ecossistemas de terras secas, devido a maior infiltração e eficiência no uso da água nos ninhos e ao redor. Essa condição permite que as plantas resistam e repovoem as áreas sob condições mais áridas, tornando-se a região dos ninhos uma espécie de refúgio para a vegetação.

Alguns autores já sugeriam o uso do material do termiteiro como uma espécie de fertilizante agrícola, principalmente no que se refere a agricultura em pequena escala, cultivo de hortaliças, por exemplo, capaz de suprir algumas deficiências nutricionais do solo (Erens *et al.*, 2015; Adhikary *et al.*, 2016). No entanto, as alterações geradas no processo de nidificação pelos térmitas podem variar, podendo ou não ocorrer e com maior ou menor intensidade de acordo com fatores como espécie, hábito alimentar e construtivo, tipo de solo, clima e vegetação.

2.4 Sedimentologia da fração areia

Define-se por sedimentologia o estudo dos depósitos sedimentares e suas origens, podendo estes aplicarem-se a diversas variáveis, como tempo de deposição, relação à fauna, flora, minerais, sua textura e estruturação, bem como evoluções no tempo e espaço. A determinação de parâmetros sedimentológicos como diâmetro médio, grau de seleção, assimetria e curtose, permitem inferir sobre o ambiente de sedimentação ou deposição dos materiais estudados (Suguio, 2003).

O grau de seleção é uma medida que se refere a distribuição das partículas em uma mesma amostra. Quando maior o grau de seleção, mais homogênea será a amostra. Esta medida pode ser classificada como: muito bem selecionado; bem selecionado; moderadamente selecionado; pobremente selecionado; muito pobremente selecionado e extremamente mal selecionado. O diâmetro médio indica a classe à qual os sedimentos pertencem, sendo que para a sedimentologia da fração areia, poderá ser classificada em areia grossa, média ou fina. Medidas de assimetria e curtose estão relacionadas com a frequência de distribuição das partículas de acordo com seu diâmetro e como estes resultados podem ser analisados graficamente (Suguio, 1973).

Assimetria trata-se do afastamento entre diâmetro médio e mediana, podendo formar curvas simétricas, assimétricas à esquerda (negativa) ou assimétrica à direita (positiva). Uma distribuição de frequências é considerada simétrica quando diâmetro médio e mediana coincidem (Figura 1a). Se a assimetria for negativa (assimétrica à esquerda), a média será menor que a mediana e a curva ficará disposta à direita do gráfico, para o lado das partículas mais finas (Figura 1b). Se a assimetria for positiva, a média será menor que a mediana e a curva se encontrará desviada para o lado as partículas de mais grosseiras (Figura 1c) (Suguio, 1973).

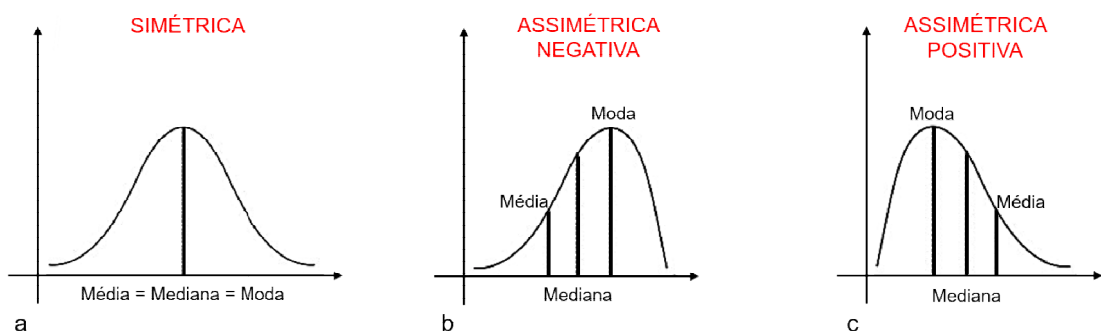


Figura 1. Medidas de assimetria baseadas nas relações entre média, mediana e moda.

Curtose é uma medida que representa a agudez das curvas de distribuição de frequência em relação a uma distribuição considerada normal, podendo ser classificada como mesocúrtica, leptocúrtica ou platicúrtica. Uma distribuição considerada Mesocúrtica possui uma medida de curtose igual a distribuição normal (Figura 2a), formando uma curva com frequências mais gradativas. Medidas de curtose com valor superior à distribuição normal,

caracteriza distribuições leptocúrticas (Figura 2b), gerando curvas com picos bem agudos, representando um sedimento bem selecionado em comparação aos demais. Medidas de curtose com valor menor que a distribuição normal caracterizam distribuições platicúrticas (Figura 2c), gerando curvas mais achatadas, sem grandes diferenças de distribuição entre as frequências (Suguio, 1973).

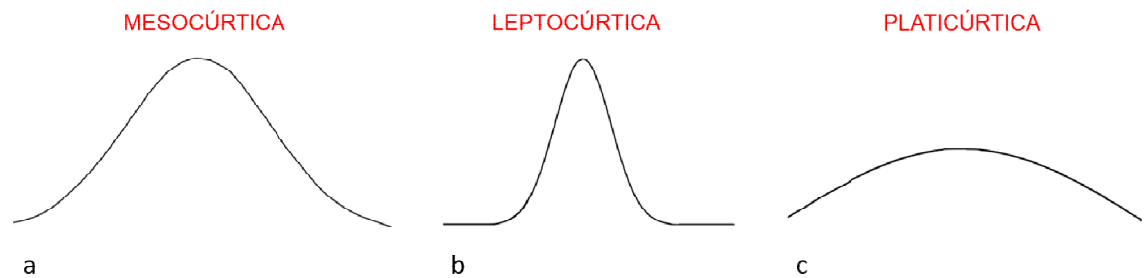


Figura 2. Medidas de curtose de acordo com a agudez das curvas dada pela distribuição de frequências dos diâmetros.

2.5 Suscetibilidade magnética (χ)

A suscetibilidade magnética (SM) é uma medida de magnetização dos materiais, ou seja, determina o quão magnetizável um material é na presença de um campo magnético. No solo, esta característica está relacionada a composição mineralógica, especialmente daqueles minerais que contém ferro. Medidas da SM podem auxiliar na identificação e classificação de minerais magnéticos, na determinação de suas concentrações, bem como na identificação de processos de formação ou transformação dos mesmos (Dearing, 1994).

Fatores como clima, relevo, material de origem, tempo, erosão, regime hídrico e biota podem afetar a suscetibilidade magnética, tornando-a uma medida sensível aos fatores e processos pedogenéticos (Yang *et al.*, 2016; Silva, 2020; Mello *et al.*, 2020). Em vista disso e da influência dos minerais magnéticos nos processos do solo, a SM pode constituir uma importante ferramenta na identificação da variabilidade espacial dos atributos do solo quanto a mineralogia, desenvolvimento, litologia, processos de formação e degradação (Ayoubi e Adman 2019; Mello *et al.*, 2020).

Solos com a presença de minerais ferrimagnéticos, como a magnetita e a maghemita, são naturalmente considerados magnéticos. Nos solos desenvolvidos de rochas básicas como o basalto, a magnetita está presente nas frações mais grosseiras, como areia e silte e a maghemita na fração argila (Melo *et al.*, 2004; Souza Junior *et al.*, 2010; Figueiredo *et al.*, 2013).

2.6 Mineralogia

O presente estudo considera que além da seletividade dos constituintes do solo durante a construção dos ninhos pelos térmitas, uma melhor compreensão dos efeitos desses organismos sobre o subsistema mineralógico do solo se faz necessária. A composição mineralógica é um dos fatores que mais gera influência sob os fenômenos físicos e químicos do solo, além de refletir o potencial de fertilidade dos solos. A maioria dos nutrientes presentes no solo é originária dos minerais constituintes do material de origem. Os minerais secundários, predominantes na fração argila do solo, em conjunto com a matéria orgânica são responsáveis pela maioria dos fenômenos químicos de adsorção e dessorção de elementos e moléculas químicas no solo (Lepsch, 2016; Mota, 2004). A identificação e o conhecimento dos diferentes minerais constituintes do solo são uma importante ferramenta na avaliação dos processos de intemperismo e gênese, além das propriedades físicas e químicas e da reserva potencial mineral de nutrientes (Lima *et al.*, 2008; Sampaio, 2011).

O entendimento das alterações mineralógicas ao longo da formação do solo em diferentes ambiente ao redor do globo terrestre tem expressivo interesse da Ciência do Solo (Dixon e Schulze, 2002). Dentre os vários mecanismos envolvidos nas alterações mineralógicas estão aqueles conduzidos pelos organismos edáficos, sejam eles animais ou vegetais. No tocante a ação dos térmitas durante a atividade construtiva dos ninhos pelos operários, a ação sobre as argilas pode ser direta ou indireta. Direta quando da trituração de partículas, da compactação, da mistura com a saliva e dejetos; e indireta pela exposição, após sua adição nos ninhos, a um ambiente modificado e distinto do solo original, quanto a fatores como temperatura e

umidade, variáveis da atmosfera interna controladas pelos térmitas (Noirot e Darlington, 2000).

As mudanças nas condições ambientais específicas dos termiteiros favorecem a alteração de materiais argilosos (Holt e Lepage, 2000). Tais alterações ocorrem tanto por reações de dissolução e neoformação, como por transformações no estado sólido, através, por exemplo, da perda de K^+ das entrecamadas de ilitas, processo conhecido como vermiculização, por efeito direto da saliva dos cupins ou como resultado do metabolismo biológico, estímulo indireto da microflora intestinal ou, ainda, uma combinação de ambos (Jouquet *et al.*, 2007; Kaschuk *et al.*, 2006).

Sako *et al.* (2009), atribuíram a maior concentração de elementos de baixa mobilidade como titânio (Ti) e zircônio (Zr) nos termiteiros em comparação ao solo adjacente, à capacidade dos cupins de transformarem minerais do solo e acelerarem o intemperismo químico. Frente a isso, os termiteiros podem ser considerados como um local de síntese, neoformação ou transformação de minerais argilosos (Holt e Lepage, 2000).

Conforme o exposto, a hipótese do estudo é de que os térmitas são seletivos para materiais do solo e podem alterar as características mineralógicas e físicas destes materiais durante a construção de seus ninhos. Sendo assim, são objetivos do estudo investigar: (i) a seletividade dos térmitas para subfrações da fração areia total e para a fração argila total; (ii) alterações mineralógicas nas frações terra fina, argila e argila desferrificada (iii) alterações nos óxidos de ferro magnéticos (magnetita e maghemita); (iv) alterações na concentração e mineralogia dos óxidos de ferro.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Coleta e preparo das amostras

As amostras de solo e ninhos de térmitas utilizadas neste estudo foram coletadas em estudo desenvolvido por Fruett (2020). Foram estudados solos e termiteiros em seis locais nos estados do Rio Grande do Sul, Piauí, Mato Grosso, Pará e Minas Gerais (Figura 1). Em cada local, foram coletadas amostras compostas das posições de topo e meio de um termiteiro e da camada 0.00-0.40 m do solo localizado em área próxima ao termiteiro sem interferência visível dos térmitas. A Tabela 1 contém a localização dos pontos amostrais e os respectivos materiais de origem do solo.

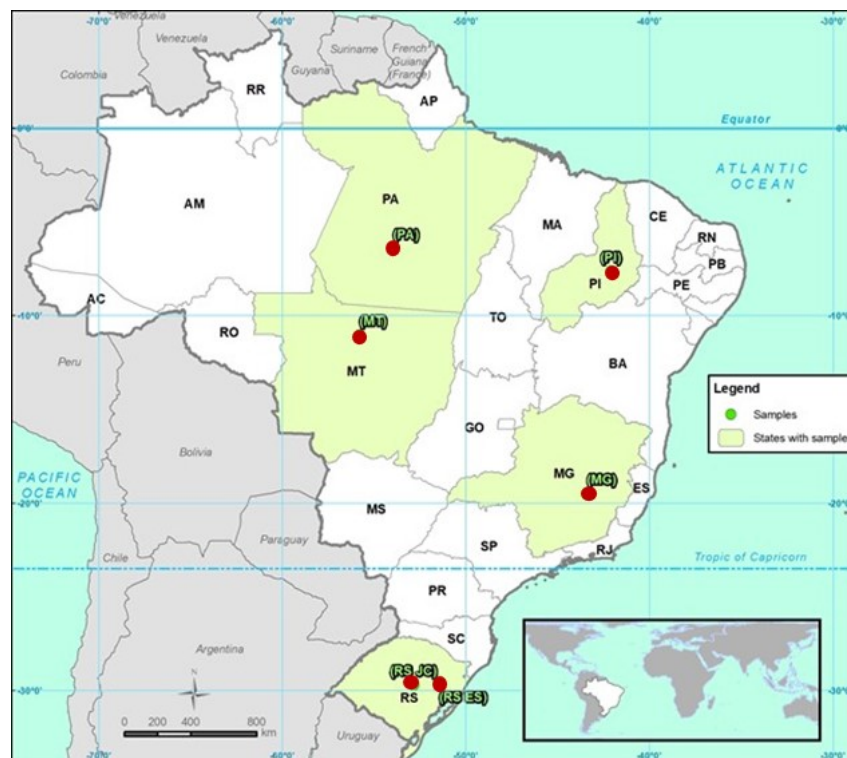


Figura 3. Locais de coleta dos solos e termiteiros. Fonte: Fruett (2020)

Tabela 1. Código de identificação das amostras, local de coleta, material de origem e teor de argila dos solos.

Código da amostra	Município / Estado	Material de origem	Argila* g kg⁻¹
RS	Júlio de Castilhos / RS	Basalto/arenito	300
EA	Eldorado do Sul / RS	Granito	310
MG	Lavras / MG	Gabro	470
PI	Cristino Castro / PI	Arenito	210
PA	Santana do Araguaia / PA	Granito	50
MT	Canabrava do Norte / MT	Sedimentos recentes	170

*Fonte: Fruett (2020).

As amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras com malha de 2 mm para obtenção da fração terra fina seca ao ar (TFSA).

As amostras de TFSA foram pesadas (50 g) e acondicionadas em snap cap de 150 ml. Cada amostra recebeu 10 ml de solução dispersante de NaOH 1 mol L⁻¹ e 100 ml de água destilada. Estas foram deixadas em agitação mecânica por 4 horas. A fração areia foi obtida por peneiramento úmido ($\varnothing=0,053$ mm) e foi seca em estufa a 105°C por 24 horas. As suspensões de silte e argila foram colocadas em provetas de 1 litro e completado o volume (Figura 2). A fração argila foi coletada de acordo com o tempo de sedimentação das partículas, conforme a Lei de Stokes (Teixeira *et al.*, 2017).

Por 7 dias as provetas foram agitadas manualmente e a argila foi coletada de acordo com o tempo de sedimentação das partículas. Decorrido este período, as amostras da fração argila coletada foram floculadas com HCl 1 mol L⁻¹ e após cada período de sedimentação, lavadas com álcool 92,8% e água destilada, na proporção de 1:1. Ao todo foram três lavagens. Procedeu-se a secagem da argila em estufa a 50°C. Uma porção de argila não foi tratada, sendo considerada a fração argila total. Uma segunda porção de argila foi desferrificada através da dissolução dos óxidos de ferro com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (Mehra e Jackson, 1958), sendo considerada como fração argila desferrificada.

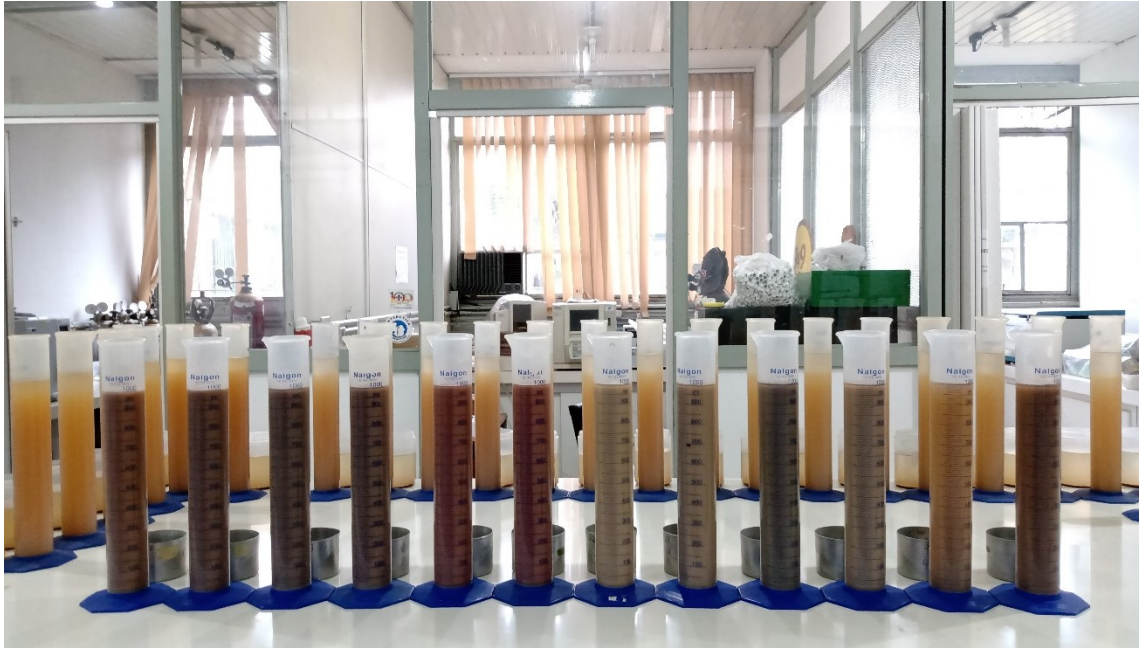


Figura 4. Provetas para coleta de argila contendo amostras dos doze locais estudados.

3.2 Sedimentologia da fração areia

As amostras da fração areia total foram pesadas e dispostas em um conjunto com quatro peneiras mais o fundo, configurando cinco subfrações da fração areia, com diâmetros 1,00 mm, 500 μm , 250 μm , 106 μm e <106 μm (Figura 3a). O conjunto foi agitado por 30 segundos em agitador mecânico (Figura 3b). O diâmetro (mm) das frações obtidas foi convertido para escala Phi, onde quanto maior o valor de Phi, menor o diâmetro da partícula. Cada subfração foi pesada e normatizada em porcentagem com relação ao peso total da amostra. Os dados obtidos foram inseridos no software SysGram 3.0. que retornou os parâmetros sedimentológicos. A interpretação se deu segundo Suguio (1973).



Figura 5. Conjunto de peneiras (a) e agitador mecânico (b) utilizados no estudo sedimentológico da areia.

3.3 Suscetibilidade magnética (χ)

A suscetibilidade magnética da fração TFSA das amostras de solos e termiteiros foi determinada em baixa frequência (0,47 kHz - χ_{LF}) e em alta frequência (4,7 kHz - χ_{HF}), em um magnetômetro Bartington com sensor de frequência dual (Sistema MS2-B), segundo Torrent *et al.* (2006).

3.4 Dissoluções seletivas dos óxidos de ferro

Os teores de Fe na estrutura aos óxidos de ferro de baixa cristalinidade (Feo) e de Al também em formas pouco cristalinas (Al_o) foram extraídos com oxalato de amônio 0,2 mol L⁻¹ a pH 3, no escuro (Schwertmann, 1964). Amostras de solo e termiteiro contendo 100 mg foram dispostas em tubos Falcon de 50 mL revestidos com papel alumínio. Nos tubos foram adicionados 40 mL de solução de oxalato de amônio (NH₄)₂C₂O₄·H₂O e mantidos em agitação por 2 horas. Posteriormente, as amostras foram

centrifugadas a 2000 rpm por 5 minutos. O sobrenadante foi transferido para balões volumétricos de 50 mL e o volume foi completado com solução de oxalato de amônio. Foram retiradas alíquotas para a determinação dos teores de Fe e Al nos extratos por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES).

Os teores de Fe e Al na estrutura dos óxidos de ferro pedogênicos totais (Fed) foram extraídos com ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) a 80°C (Mehra e Jackson, 1958). Amostras de solo e termiteiro contendo 100 mg foram dispostas em tubos Falcon de 50 mL. Nos tubos foram adicionados 40 mL de solução de citrato de sódio ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$) 0,3 mol L⁻¹ e bicarbonato de sódio (NaHCO_3) 1 mol L⁻¹ (solução CB) e levados ao banho-maria. Ao atingir temperatura de 80°C, adicionou-se 1 g de ditionito de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) em 3 etapas de 0,33 g cada. Após cada etapa as amostras eram agitadas com bastão de vidro por 1 minuto e repousavam por 15 minutos. Após, as amostras foram centrifugadas a 3000 rpm por 15 minutos. O sobrenadante foi transferido para balões volumétricos de 50 mL e o volume foi completado com solução CB. Foram retiradas alíquotas para determinação dos elementos Fe e Al por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES). Posteriormente, foi calculada a razão Feo/Fed, a partir da qual obtêm-se uma estimativa do grau de cristalinidade dos óxidos de ferro pedogênicos.

3.5 Difratometria de raios X (DRX)

A identificação dos minerais constituintes das frações TFSA, argila e argila desferrificada das amostras dos termiteiros e dos solos adjacentes foi determinada por difratometria de raios X (DRX) em equipamento Bruker D2-Phaser equipado com um detector linear (tipo LYNXEYE™) e software de análise DIFFRAC.SUITE™. O difratômetro foi operado com radiação $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda=1,5418 \text{ \AA}$) gerada a 30 kV e 10 mA. As lâminas foram confeccionadas com material em pó (sem orientação), tendo mantido-se a mesma massa para as amostras dos solos e dos termiteiros. As amostras de todas as frações foram lidas na amplitude de 4 a 50 °2 θ com intervalo de varredura de 0,02 °2 θ por 0,5

s. A identificação das reflexões nos difratogramas foi realizada segundo as tabelas de identificação de (Brown e Brindley, 1980).

A observação de diferenças mineralógicas entre os constituintes do solo e do termiteiro em cada local foi realizada pelo método da difratometria diferencial de raios-x (DDRX) (Schulze, 1981), que consiste em subtrair os dados numéricos do difratograma de raios x obtidos na amostra do termiteiro daqueles obtidos na amostra do solo de cada local. A não ocorrência de diferenças entre os constituintes do solo e do termiteiro resulta em um DDRX sem a presença de reflexões. No caso de uma maior concentração de determinado mineral na amostra de solo, o referido mineral será representado por reflexões positivas no DDRX, enquanto reflexões negativas no DDRX indicarão maior concentração do mineral na amostra do termiteiro.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Sedimentologia da areia

Os parâmetros sedimentológicos da fração areia dos solos e termiteiros dos seis locais estudados são mostrados na Tabela 2. As três primeiras amostras na tabela (RS, EA, MG) correspondem a solos com teores de argila superiores a 300 g kg^{-1} . Nestes solos, o enquadramento dos parâmetros sedimentológicos da areia foi igual para o solo e o termiteiro. Nos demais locais, onde os solos foram mais arenosos com teores de argila inferiores a 210 g kg^{-1} (PI, PA, MT), foram observadas algumas variações no enquadramento dos parâmetros diâmetro médio, grau de seleção, assimetria e curtose, quando comparados os materiais de solo e termiteiro. Esse resultado é relevante, considerando que são poucos os estudos nessa temática em solos arenosos (Sarcinelli, 2010).

No ambiente PI, o grau de seleção das partículas passou de pobremente selecionado no solo para moderadamente selecionado no termiteiro, enquanto o inverso ocorreu no ambiente PA. Por outro lado, nos materiais do ambiente MT houve variação no diâmetro médio das partículas, passando da classe areia média no solo para a classe areia fina no termiteiro, sugerindo uma seleção de partículas de areia de menor tamanho pelos térmitas.

A frequência de distribuição dos diâmetros de partículas e as medidas de assimetria e curtose correspondentes as curvas geradas são apresentadas na Figura 6. O parâmetro assimetria da areia não foi alterado pelos térmitas durante a construção dos ninhos nas amostras dos ambientes RS, MG e PI, onde a assimetria foi classificada como negativa, e em EA, onde

a assimetria foi aproximadamente simétrica. Nas amostras dos ambientes PA e MT, a assimetria da areia foi alterada de negativa nos solos para aproximadamente simétrica nos termiteiros, sugerindo uma maior frequência de partículas mais grosseiras nesses solos em relação aos termiteiros. Quanto a curtose, apenas em PA houve variação deste parâmetro, partindo de uma medida mesocúrtica no solo para platicúrtica no termiteiro, determinada pelo aumento da frequência de partículas de menor tamanho no termiteiro. Na amostra MT, embora as curvas de solo e termiteiro tenham sido classificadas como leptocúrticas, também foi possível observar um incremento na frequência das partículas de menor tamanho.

As frequências acumuladas das subfrações de areia nos solos e termiteiros são mostradas na figura 7. Conforme já constatado, nos ambientes RS e EA, as curvas são muito similares, indicando que nesses solos mais argilosos os térmitas não foram seletivos para subfrações da areia. Nas amostras dos ambientes MG e PI, as curvas de frequência acumulada dos solos estão na maior parte dos segmentos acima das curvas dos termiteiros, sugerindo maior frequência de partícula de maior tamanho nos solos em relação aos termiteiros. A maior frequência de partículas menores no termiteiro em relação ao solo foi mais evidente em MT, com o contrário sendo verificado em PA.

Conforme já descrito por Suguio (2003), o fracionamento da fração areia nesse estudo possibilitou inferir sobre a seletividade dos térmitas por partículas de menor diâmetro quando em ambientes com solos arenosos. Estes resultados indicam que, embora não expressivas, as diferenças na sedimentologia da areia verificadas entre o solo e o termiteiro nos locais onde os solos são mais arenosos sugerem uma tendência para a seleção de partículas de areia de menor tamanho por parte dos térmitas durante a construção de seus ninhos devido a menor disponibilidade de partículas de tamanho argila. Tais resultados podem ser atrelados ao fato de que quanto mais argiloso é o solo, menor é a seleção de partículas (Sarcinelli, 2010), possivelmente pela maior disponibilidade destas partículas preferenciais aos térmitas.

Tabela 2. Parâmetros granulométricos da areia dos materiais de solo (S) e termiteiros (T).

Amostra	Diâmetro médio		σ (ϕ)	Grau de seleção		Assimetria		Curtose	
	ϕ	Classe		Classe	-	Classe	-	Classe	
RS-S	1,69	Areia média	0,68	Moderadamente selecionado	-0,30	Negativa	1,01	Mesocúrtica	
RS-T	1,71	Areia média	0,67	Moderadamente selecionado	-0,22	Negativa	1,01	Mesocúrtica	
EA-S	1,04	Areia média	1,20	Pobrememente selecionado	0,00	Aproximadamente simétrica	0,65	Muito platicúrtica	
EA-T	1,00	Areia média	1,22	Pobrememente selecionado	0,05	Aproximadamente simétrica	0,62	Muito platicúrtica	
MG-S	1,47	Areia média	1,13	Pobrememente selecionado	-0,13	Negativa	0,97	Mesocúrtica	
MG-T	1,84	Areia média	1,05	Pobrememente selecionado	-0,12	Negativa	0,99	Mesocúrtica	
PI-S	1,41	Areia média	1,01	Pobrememente selecionado	-0,12	Negativa	1,01	Mesocúrtica	
PI-T	1,54	Areia média	0,89	Moderadamente selecionado	-0,14	Negativa	1,04	Mesocúrtica	
PA-S	1,31	Areia média	0,98	Moderadamente selecionado	-0,19	Negativa	0,94	Mesocúrtica	
PA-T	1,09	Areia média	1,17	Pobrememente selecionado	-0,03	Aproximadamente simétrica	0,68	Platicúrtica	
MT-S	1,91	Areia média	0,55	Moderadamente selecionado	-0,11	Negativa	1,26	Leptocúrtica	
MT-T	2,05	Areia fina	0,76	Moderadamente selecionado	0,01	Aproximadamente simétrica	1,21	Leptocúrtica	

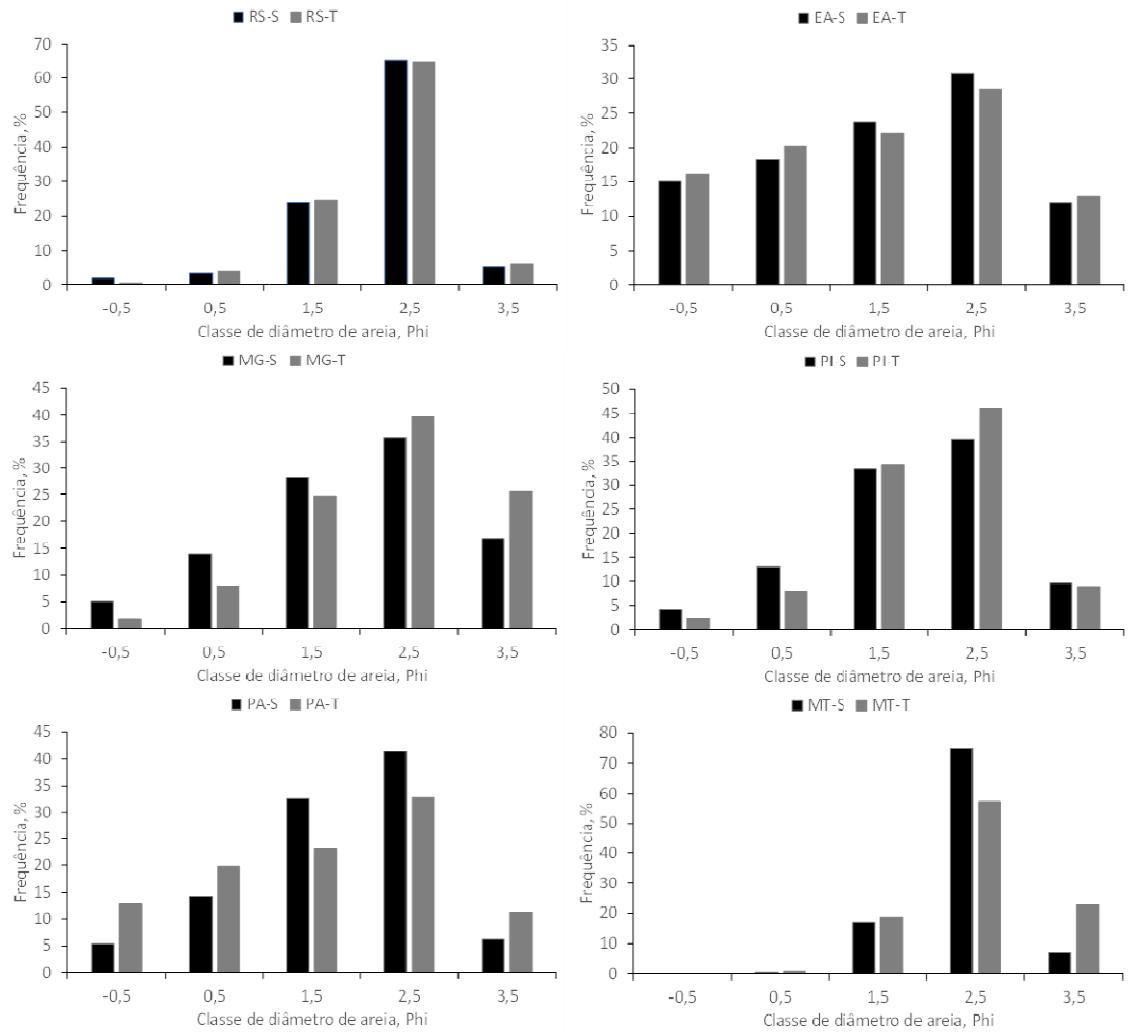


Figura 6. Frequência da distribuição de partículas da fração areia nos materiais de solo (S) e termiteiro (T) dos seis locais.

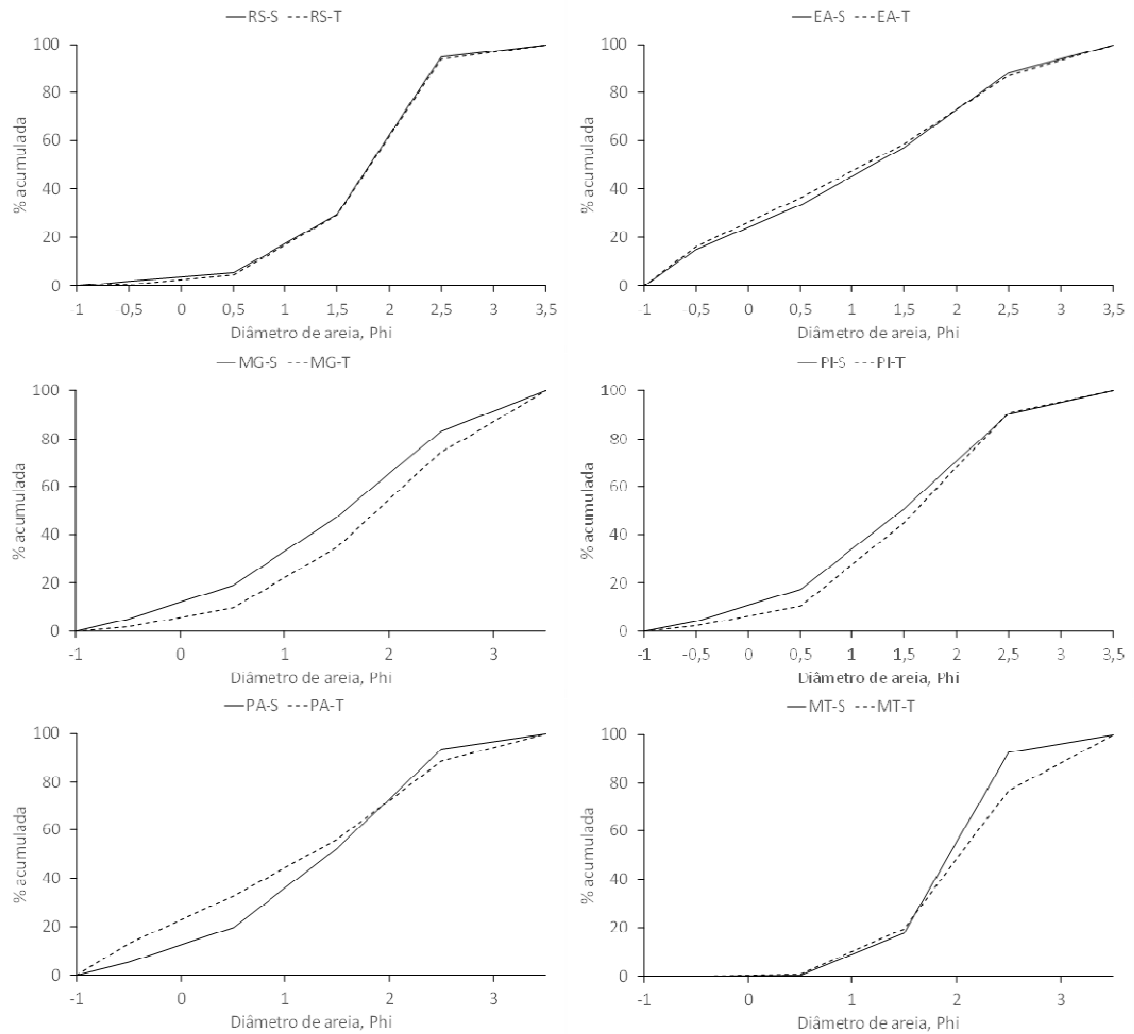


Figura 7. Curvas de frequência acumulada da distribuição de partículas da fração areia nos materiais de solo (S) e termiteiro (T) dos seis locais.

4.2 Suscetibilidade magnética (χ)

Na Tabela 3 são apresentados os valores da susceptibilidade magnética (χ) obtidos nas amostras de TFSA dos solos e termiteiros nos diferentes locais. Os maiores valores de χ , tanto em baixa como em alta frequência foram constatados nos materiais coletados nos ambientes RS e MG. Nestes locais, a susceptibilidade magnética foi maior no solo em comparação ao termiteiro, possivelmente devido ao material de origem dos solos, respectivamente, basalto/arenito e gabro. Considerando que térmitas tendem a concentrar argila em seus ninhos (Fruett, 2020), a magnetita presente nas frações mais grosseiras de solos desenvolvidos dessas litologias tem sua

concentração reduzida relativamente nos termiteiros, determinando assim uma menor suscetibilidade magnética.

Nos demais locais, desenvolvidos de rochas ácidas ou sedimentares, os valores da suscetibilidade magnética foram baixos. Nos amostras dos ambientes PA e PI, os valores de χ foram semelhantes entre o solo e o termiteiro. Já nos ambientes EA e MT, a maior χ nos termiteiros está relacionada possivelmente com a não ocorrência de magnetita nas frações grosseiras e ao incremento de argila e, conseqüentemente, de óxidos de ferro pedogênicos (maghemita, hematita, goethita) nos termiteiros. Dessa forma, a concentração de óxidos de ferro na fração argila foi determinante para o aumento na χ nos ninhos.

Tabela 3. Valores de suscetibilidade magnética determinados em baixa (χ_{LF}) e alta (χ_{HF}) frequência na fração terra fina dos materiais de solos e de ninhos.

Amostra	χ_{LF} $m^3 \text{ kg}^{-1} * 10^{-7}$	χ_{HF} $m^3 \text{ kg}^{-1} * 10^{-7}$
RS-S	39,5	37,8
RS-T	34,1	32,1
EA-S	7,0	6,1
EA-T	8,2	7,1
MG-S	479,5	411,5
MG-T	436,0	371,6
PI-S	0,3	0,3
PI-T	0,5	0,4
PA-S	1,2	1,1
PA-T	1,1	1,0
MT-S	0,3	0,3
MT-T	0,9	0,9

4.3 Dissoluções seletivas dos óxidos de ferro

Na Tabela 4 são apresentados os teores de ferro (Fe) e alumínio (Al) obtidos nas dissoluções seletivas dos óxidos de ferro pedogênicos totais e de baixa cristalinidade e a razão Feo/Fed entre eles, através da qual se obtém o grau de cristalinidade dos óxidos de ferro pedogênicos. Os resultados indicaram um aumento da concentração de óxidos de ferro nos termiteiros em comparação ao solo adjacente na maioria dos locais, tanto na extração com

DCB quanto com oxalato de amônio, exceção ao ambiente PA que na extração com oxalato de amônio apresentou concentração de Fe superior no material de solo. Resultados semelhantes foram obtidos por Mujinya *et al.* (2013) ao compararem materiais de solo e termiteiro na região de Lubumbashi, no Congo, onde o conteúdo de óxidos de ferro de baixa cristalinidade foi superior nos ninhos em relação ao solo circundante. Os teores de alumínio presentes na estrutura dos óxidos de ferro (Ald) apresentaram o mesmo comportamento do Fed, com incrementos nos termiteiros, com exceção do ambiente PA. Já os teores de Al em formas de baixa cristalinidade (Alo) foram semelhantes entre o solo e o termiteiro em todos os locais. A relação Feo/Fed na maioria dos ambientes indicou uma predominância de óxidos de ferro cristalinos. Essa relação não sofreu alterações consideráveis entre os materiais do solo e do termiteiro na maioria dos locais estudados, exceção aos ambientes RS e PA, onde os comportamentos foram distintos.

Tabela 4. Teores de ferro e alumínio na estrutura dos óxidos de ferro pedogênicos totais (Fed e Ald) e de baixa cristalinidade (Feo e Alo) e relação Feo/Fed no solo (S) e termiteiro (T) dos locais amostrados.

Amostra	DCB		Oxalato de amônio		Feo/Fed
	Fed	Ald	Feo	Alo	
	g kg ⁻¹				
RS-S	27,91	4,95	3,41	4,17	0,12
RS-T	30,76	5,21	6,62	3,95	0,22
EA-S	18,80	3,66	2,85	3,01	0,15
EA-T	26,72	4,56	3,31	3,13	0,12
MG-S	140,28	17,76	7,35	7,07	0,05
MG-T	163,60	22,61	7,38	6,56	0,05
PI-S	6,58	1,14	0,49	1,02	0,07
PI-T	32,48	3,29	0,68	0,94	0,02
PA-S	11,98	3,29	3,92	1,92	0,33
PA-T	12,46	2,30	2,36	1,89	0,19
MT-S	11,85	1,55	3,41	0,92	0,29
MT-T	15,95	3,86	4,95	1,02	0,31

Na tabela 5 são apresentados os valores das relações entre os teores de Fed, Ald, Feo e Alo obtidos nos materiais dos termiteiros em relação aos dos solos (termiteiro/solo = T/S). O predomínio de relações superiores a unidade expressam a maior concentração de óxidos de ferro nos termiteiros. Da mesma forma que obtido por Fruett (2020), esses resultados corroboram com o enriquecimento da fração argila nos ninhos, considerando-se que os óxidos de ferro são parte integrante desta fração.

Tabela 5. Relação termiteiro-solo (T/S) dos elementos extraídos nas dissoluções seletivas nos materiais dos seis locais estudados.

	DCB		Oxalato de amônio	
	Fed	Ald	Feo	Alo
	T/S	T/S	T/S	T/S
RS	1,10*	1,05	1,94	0,95
EA	1,42	1,25	1,16	1,04
MG	1,17	1,27	1,00	0,93
PI	4,94	2,89	1,39	0,92
PA	1,04	0,70	0,60	0,98
MT	1,35	2,49	1,45	1,11

4.4 Difratomia de raios X

Os resultados das análises por difratometria de raios x (DRX) das frações terra fina seca ao ar, argila e argila desferrificada são apresentados nas Figuras 8, 9 e 10, respectivamente. Nessas figuras, além dos DRX dos materiais de solo e termiteiros dos diferentes locais estudados, são mostrados também os difratogramas diferenciais de raios x (DDRX) resultantes.

Não foram verificadas alterações mineralógicas, ou seja, dissoluções ou transformações de argilominerais, entre os materiais identificados nos solos e aos materiais identificados nos termiteiros. Por outro lado, considerando que a massa das amostras do solo e do termiteiro em cada ambiente foi rigorosamente observada, foi possível constatar diferenças entre as intensidades das reflexões nos DRX do solo e do termiteiro, as quais variaram de sutis a importantes dependendo da amostra. Resultados muito semelhantes

foram encontrados por Abe e Wakatsuki (2014) em estudo que comparou materiais de solo e cupinzeiro na região central da Nigéria.

Considerando a intensidade das reflexões nos DRX da fração TFSA (Figura 8), exceto nos materiais do ambiente MG, onde o solo foi desenvolvido de basalto, o quartzo (Qz) foi o mineral predominante, devido sua resistência ao intemperismo, fato que o torna o principal componente das frações silte e areia (Nobile, 2008). Associada ao quartzo, a caulinita (Ct) ocorreu em todos os locais, com intensidades de reflexões variáveis. Sua ocorrência frequente nos solos brasileiros decorre de sua formação a partir de uma vasta gama de materiais de origens (Bortoluzzi *et al.*, 2007; Simões, 2012). Nos materiais do ambiente MG, os minerais predominantes foram a gibbsita (Gb) e a hematita. No RS, se destacou ainda a ocorrência de feldspatos (Ft).

Em geral, foi observada uma redução na intensidade das reflexões de quartzo e de feldspatos no material dos ninhos em relação ao solo, o que é possível de ser verificado nos difratogramas diferenciais da maioria das amostras para o quartzo e em RS para os feldspatos. Assim como o quartzo, a caulinita também mostrou intensidades distintas entre os materiais de solo e termiteiros nas amostras dos ambientes PI, MT e PA. Nestes locais, os difratogramas diferenciais apresentaram reflexões negativas para a caulinita, o que refletiu maiores concentrações de caulinita nos termiteiros em comparação aos solos, indicando seletividade dos térmitas por partículas de tamanho argila em detrimento de partículas maiores como o quartzo e feldspatos. Da mesma forma, Abe e Wakatsuki (2014) ao utilizarem a técnica da DDRX entre materiais de solo e termiteiro, constataram que os ninhos apresentaram menor conteúdo de quartzo e acúmulo de argilominerais como a caulinita nos ninhos em relação ao material de solo não nidificado.

Por outro lado, nas amostras de solos mais argilosos dos ambientes RS, EA e MG, as reflexões da caulinita nos difratogramas diferenciais praticamente não aparecem, demonstrando similaridade entre os materiais de solo e termiteiro. O mesmo foi verificado para as reflexões de gibbsita e hematita nos materiais do ambiente MG. Esses resultados diferem dos obtidos entre os materiais dos ambientes de solos mais arenosos, onde observou-se maior seletividade por partículas de tamanho argila, da mesma forma que

verificado no estudo de Abe e Wakatsuki (2014) em solo desenvolvido de sedimentos arenosos.

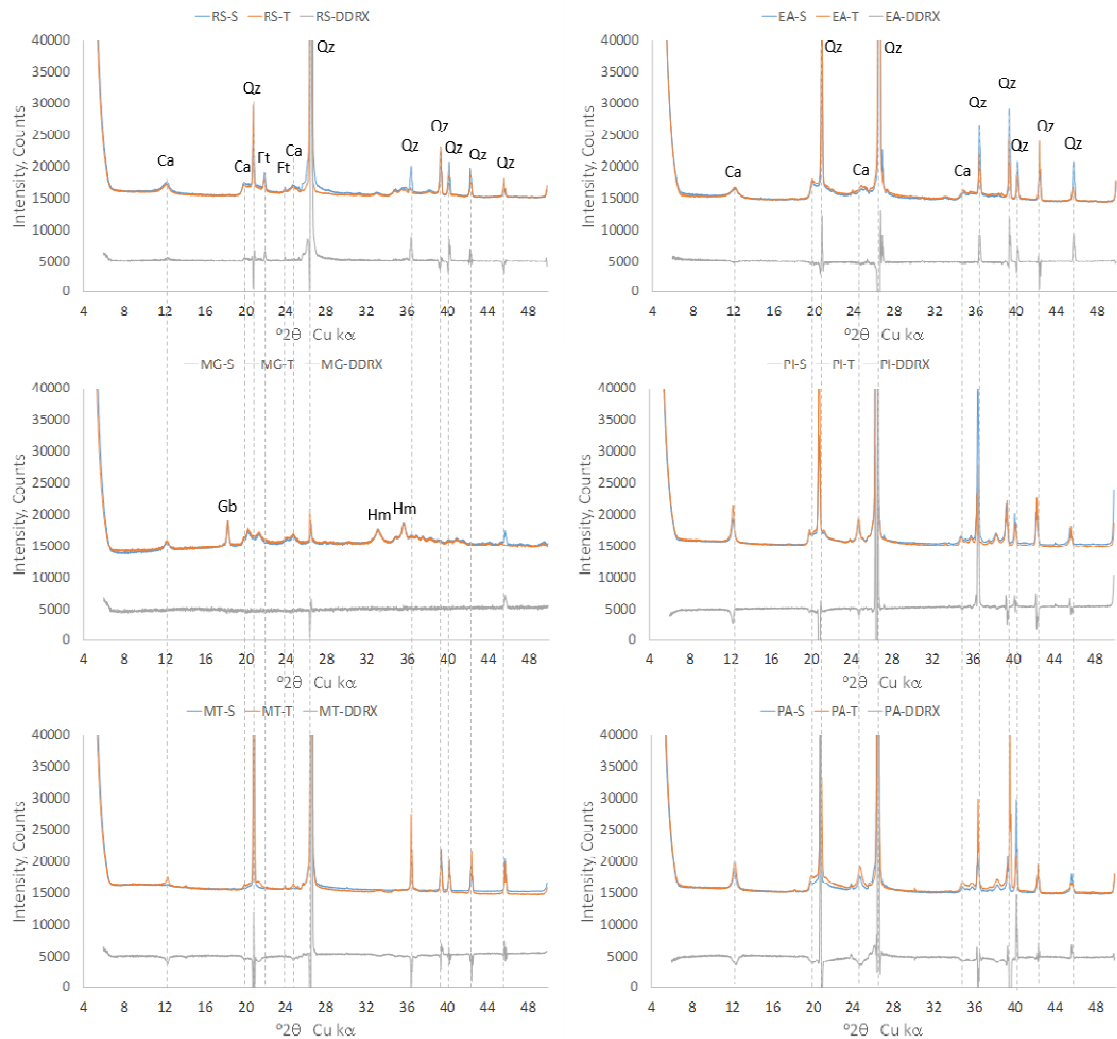


Figura 8. Difratomogramas de raios x da fração terra fina seca ao ar dos materiais de solo (S) e termiteiro (T) e o difratograma diferencial de raios x resultante (T-S) dos seis locais estudados.

Na Figura 9 são mostrados os DRX da fração argila dos materiais de solo e termiteiro de cinco dos locais estudados. Com a concentração da fração argila foi possível amplificar os resultados observados nas análises da fração TFSA. Novamente, nas amostras dos ambientes RS, EA e MG, as reflexões de caulinita, hematita (Hm), goethita (Gt) e gibbsita foram muito semelhantes para solo e termiteiro, conforme indicam os DDRX praticamente horizontais, com sutis reflexões positivas de caulinita no RS e MG e de gibbsita no MG. Por outro lado, as análises por DRX dessa fração permitiram ratificar a seletividade dos térmitas com relação a caulinita durante a formação dos termiteiros em

ambientes de solos arenosos, conforme indicaram as intensas reflexões negativas da caulinita nos DDRX dos ambientes PI e PA.

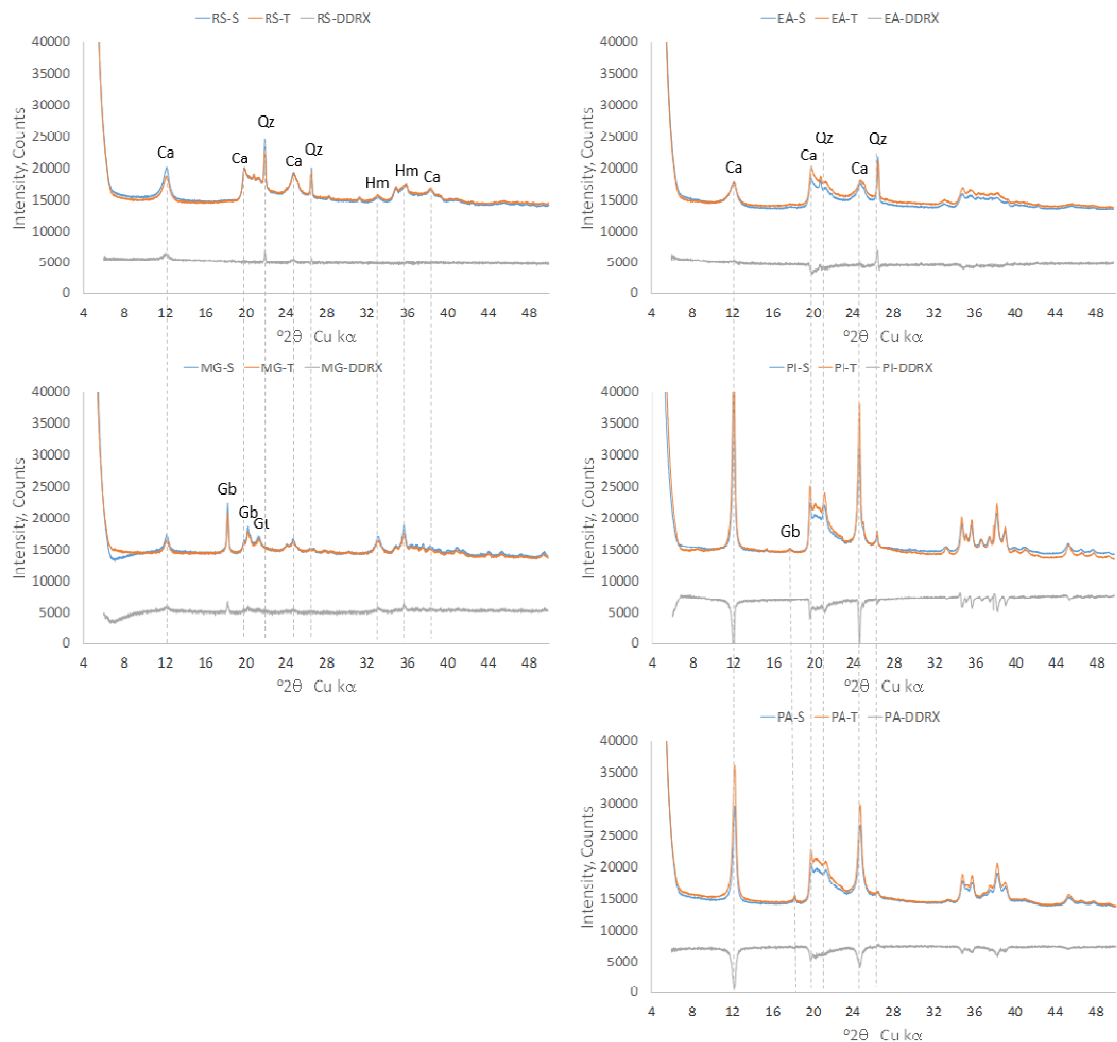


Figura 9. Difratomogramas de raios x da fração argila dos materiais de solo (S) e termiteiro (T) e o difratograma diferencial de raios x resultante (T-S) de cinco locais estudados.

A fração argila do solo e termiteiro de quatro dos locais foi desferrificada e os difratogramas são mostrados na figura 10. A extração seletiva dos óxidos de ferro possibilitou a identificação de reflexões pouco intensas de argilominerais 2:1 (esmectitas ou vermiculitas) tanto nos materiais de solo como de termiteiro das amostras dos ambientes EA, MG e PA. Porém, essas reflexões se anularam nos DDRX, sugerindo que com a metodologia utilizada não se constatou efeito dos térmitas sobre esses tipos de argilominerais. Para os demais minerais, os resultados obtidos nessa fração foram muito semelhantes aos obtidos na fração argila. Novamente, nos DDRX

dos materiais dos ambientes RS, EA e MG, foram verificadas sutis reflexões positivas de caulinita e gibbsita, indicando maior concentração desses minerais nos solos desses locais. No ambiente PA, picos negativos intensos para caulinita evidenciaram maior concentração deste mineral no termiteiro.

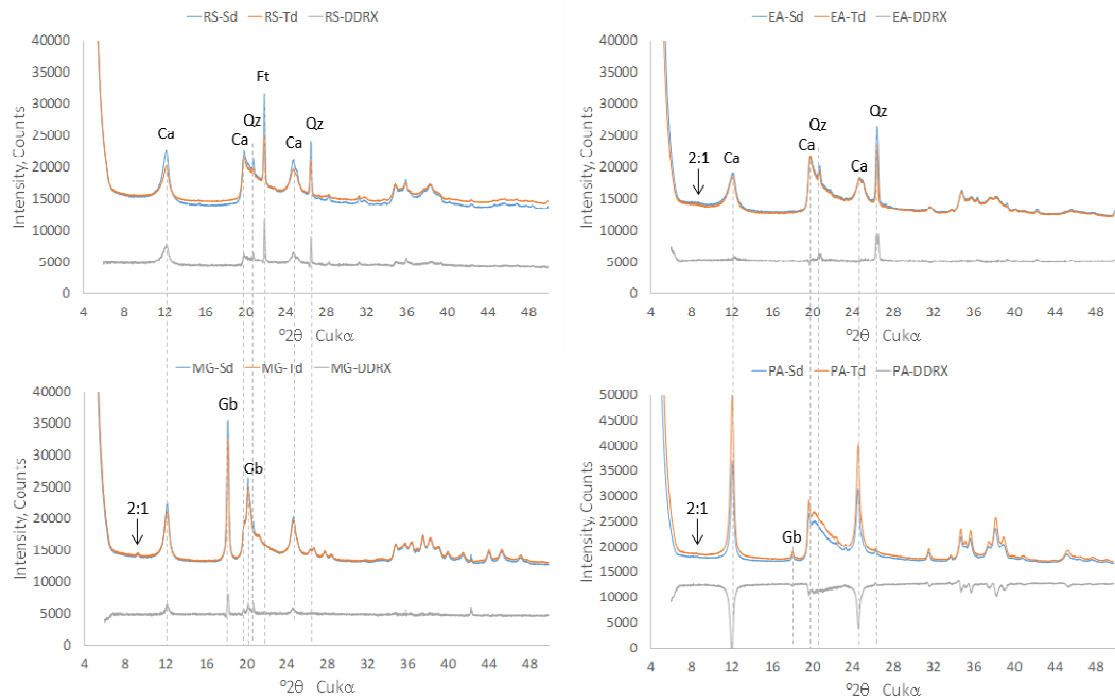


Figura 10. Difratomogramas de raios x da fração argila desferrificada dos materiais de solo (S) e termiteiro (T) e o difratograma diferencial de raios x resultante (T-S) de quatro locais estudados.

As Figuras 11 e 12 são resultado de análises de difratometria diferencial de raios x que objetivaram identificar o efeito dos térmitas sobre os minerais óxidos de ferro durante a construção dos termiteiros em quatro dos ambientes (RS, EA, MG e PA). As Figuras A apresentam os DRX da fração argila do solo (St) e da fração argila desferrificada do solo (Sd), com o resultante DDRX (St-Sd), onde as reflexões relativas aos óxidos de ferro são indicadas. Nas Figuras B, são apresentados os DRX da fração argila do termiteiro (Tt) e da fração argila desferrificada do termiteiro (Td), com o resultante DDRX (Tt-Td), onde as reflexões relativas aos óxidos de ferro também são indicadas. Nas Figuras C apresenta-se os DDRX gerados nos materiais de solo (St-Sd) e do termiteiro (Tt-Td), bem como o difratograma diferencial resultante dos mesmos $DDDRX = [(St-Sd) - (Tt-Td)]$.

Embora as extrações seletivas dos óxidos de ferro tenham indicado concentrações de Fe maiores nos termiteiros em relação aos solos, a técnica da difratometria de raios x não foi sensível em identificar essas diferenças, conforme pode ser observado nos DDDR_X (em cores vermelhas) para os quatro locais avaliados. Isso ocorre porque nos solos com teores elevados de óxidos de ferro (MG) as diferenças nos teores de Fe não foram expressivas, enquanto nas amostras onde as diferenças nos teores de Fe foram expressivas (p.ex. EA e PI), os teores de Fe nos solos foram baixos, dificultando a expressão dos óxidos de ferro nos difratogramas. É possível que em estudos futuros a utilização de intervalos de leituras menores e por mais tempo na análise das amostras, associada concentração da fração óxidos de ferro via dissolução seletiva dos demais minerais e o uso de tratamentos matemáticos dos dados essa técnica ganhe sensibilidade para a análise de alterações na mineralogia dos óxidos de ferro pedogênicos.

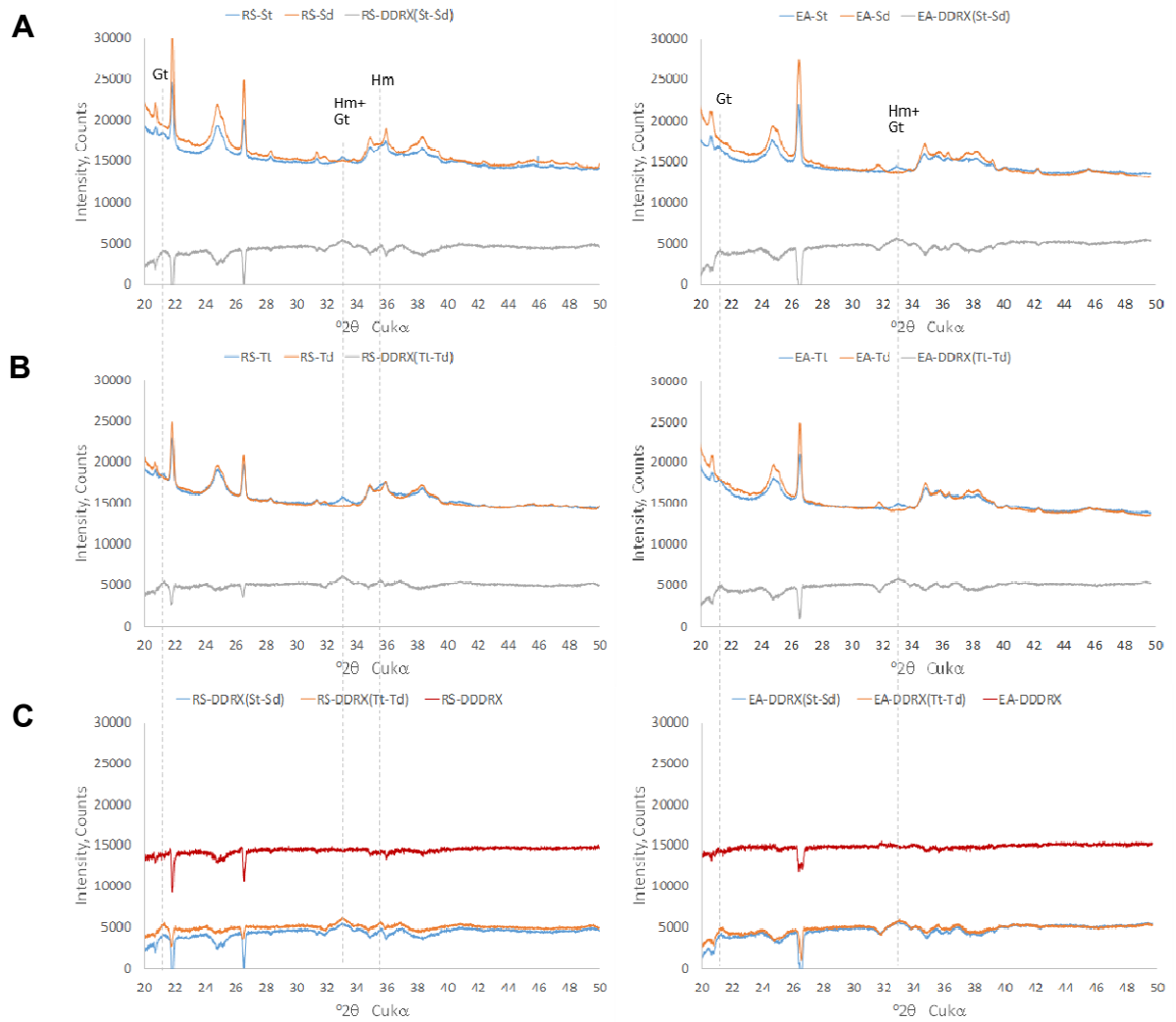


Figura 11. Difratogramas diferenciais de raios x das frações argila total e argila desferrificada dos materiais de solo (St-Sd) e termiteiro (Tt-Td) e o difratograma diferencial de raios x resultante [(St-Sd)-(Tt-Td)] de dois locais estudados (RS e EA).

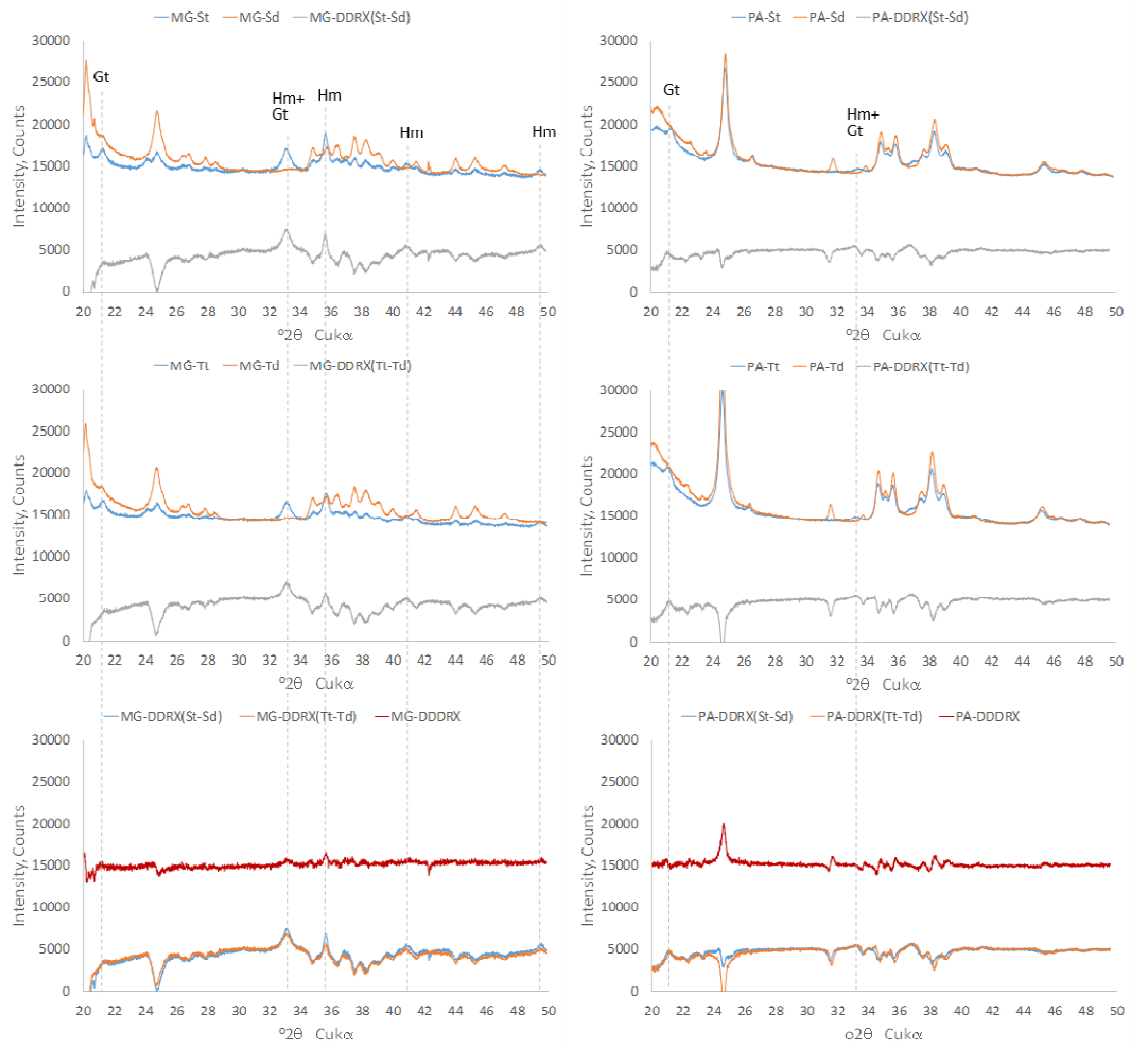


Figura 12. Difratomogramas diferenciais de raios x das frações argila total e argila desferrificada dos materiais de solo (St-Sd) e termiteiro (Tt-Td) e o difratograma diferencial de raios x resultante [(St-Sd)-(Tt-Td)] de dois locais estudados (MG e PA).

5. CONCLUSÕES

Os parâmetros sedimentológicos da fração areia são similares entre os materiais de solo e termiteiro em locais onde os solos são mais argilosos. Diferenças sutis na sedimentologia da areia ocorrem entre o solo e o termiteiro em locais onde os solos são mais arenosos, sugerindo que nessas condições os térmitas são seletivos por partículas de areia de menor tamanho.

Nos solos mais argilosos, desenvolvidos de rochas básicas, a suscetibilidade magnética da fração terra fina seca ao ar é maior no solo do que no termiteiro, possivelmente, devido a maior concentração de magnetita nas frações areia e silte e a seletividade dos térmitas por partículas de tamanho argila para a construção dos termiteiros. Nos solos arenosos com baixa concentração de magnetita nas frações areia e silte, a suscetibilidade magnética é maior nos materiais dos termiteiros devido a maior concentração de óxidos de ferro pedogênicos.

Em geral, a concentração de Fe relativo aos óxidos de ferro pedogênicos e do argilomineral caulinita é maior nos termiteiros em relação aos solos adjacentes e confirma que os organismos térmitas são seletivos por partículas minerais de menor tamanho na confecção de seus ninhos, com destaque a ambientes onde os solos são mais arenosos.

REFERÊNCIAS

ABE, S. S. *et al.* Nutrient storage in termite (*Macrotermes bellicosus*) mounds and the implications for nutrient dynamics in a tropical savanna Ultisol. **Soil Science and Plant Nutrition**, Oxford, v. 57, n. 6, p. 786–795, Dec. 2011.

ABE, S. S.; WAKATSUKI, T. The influence of the mound-building termite (*Macrotermes bellicosus*) on soil clay mineralogy. **Tropics**, Kagoshima, v. 22, n. 4, p. 169–177, 2014.

ADEPEGBA, D. **The prodigies of structural engineering**. Lagos, NG: University of Lagos, 1979.

ADHIKARY, N. *et al.* Effects of spreading out termite mound material on ferralsol fertility, Katanga, D.R. Congo. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 47, n. 9, p. 1089–1100, May 2016.

AYOUBI, S.; ADMAN, V.; YOUSEFIFARD, M. Use of magnetic susceptibility to assess metals concentration in soils developed on a range of parent materials. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Amsterdam, v. 168, p. 138–145, Jan. 2019.

AZEVEDO, A.; KÄMPF, N.; BOHNEN, H. Alterações na dinâmica evolutiva de latossolo bruno pela calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 20, n. 2, p. 191–198, 1996.

BARETTA, D. *et al.* Fauna edáfica e qualidade do solo. *In*: **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2011. v. 7, p. 141-191.

BERTOLAZI, V. T. *et al.* Impact of an integrated no-till soybean–beef cattle production system on Oxisol mineralogy in southern Brazil. **Applied Clay Science**, Amsterdam, v. 149, p. 67–74, Dec. 2017.

BONACHELA, J. A. *et al.* Termite mounds can increase the robustness of dryland ecosystems to climatic change. **Science**, Washington, DC, v. 347, n. 6222, p. 651–655, Feb. 2015.

BORTOLUZZI, E. C.; PERNES, M.; TESSIER, D. Interestratificado caulinita-

esmectita em um argissolo desenvolvido a partir de rocha sedimentar do Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p. 1291–1300, dez. 2007.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades do solo**. 3. ed. Viçosa, MG: Bookman, 2009.

BRAUMAN, A.; BIGNELL, D. E.; TAYASU, I. Soil-feeding termites: biology, microbial associations and digestive mechanisms. *In*: ABE, T.; BIGNELL, D. E.; HIGASHI, M. (ed.). **Termites: evolution, sociality, symbioses, ecology**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2000. p. 233–259.

BRAZETTI, R. Identificação do aglutinante de partículas de solo produzido pelas termites. *In*: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, 3., 1998, Curitiba. [**Anais...**]. Curitiba: CEFET, 1998.

BROWN, G. G.; BAROIS, I.; LAVELLE, P. Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional domains. **European Journal of Soil Biology**, Paris, v. 36, n. 3/4, p. 177–198, July 2000.

BROWN, G.; BRINDLEY, G. W. X-ray diffraction procedures for clay mineral identification. *In*: BRINDLEY, G. W.; BROWN, G. (ed.). **Crystal structures of clay minerals and their x-ray identification**. Colchester: Mineralogical Society of Great Britain and Ireland, 1980. v. 5, p. 305–360.

BRUNE, A.; KÜHL, M. pH profiles of the extremely alkaline hindguts of soil-feeding termites (Isoptera: *Termitidae*) determined with microelectrodes. **Journal of Insect Physiology**, Oxford, v. 42, n. 11/12, p. 1121–1127, Nov. 1996.

CAMPANA-FILHO, S. P. *et al.* Extração, estruturas e propriedades de alfa- e beta-quitina. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 644–650, jun. 2007.
CONSTANTINO, R. Isoptera. *In*: RAFAEL, J. A. (ed.). **Insetos do Brasil: diversidade e taxonomia**. Ribeirão Preto: Holos, 2012. v. 111, p. 311–321.

CORREIA, M. E. F.; OLIVEIRA, L. C. M. Importância da fauna de solo para a ciclagem de nutrientes. *In*: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. (ed.). **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p. 77–99.

CZEPAK, C.; ARAÚJO, E. A. A.; FERNANDES, P. M. Ocorrência de espécies de cupins de montículo em pastagens no Estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 33, n. 1, p. 35–38, 2003.

DEARING, J. A. **Environmental magnetic susceptibility: using the Bartington MS2 system**. Kenilworth: Chi Pub., 1994.

DIXON, J. B.; SCHULZE, D. G. (ed.). **Soil mineralogy with environmental applications**. Madison: Soil Science Society of America, 2002.

ELINWA, A. U. Experimental characterization of Portland cement-calcined soldier-ant mound clay cement mortar and concrete. **Construction and Building Materials**, Oxford, v. 20, n. 9, p. 754–760, 2006.

ERENS, H. *et al.* The origin and implications of variations in soil-related properties within *Macrotermes falciger* mounds. **Geoderma**, Amsterdam, v. 249/250, p. 40–50, July 2015.

EVANS, T. A. *et al.* Ants and termites increase crop yield in a dry climate. **Nature Communications**, London, v. 2, [art.] 262, Sept. 2011.

FIGUEIREDO, R. *et al.* Intemperismo dos minerais de um Latossolo vermelho férrico. *In*: ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA CESUMAR, 8., Maringá. **Anais** [...]. Maringá: CESUMAR, 2013. [p. 1-4].

FINK, J. R. *et al.* Chemical and mineralogical changes in a Brazilian Rhodic Paleudult under different land use and managements. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 38, n. 4, p. 1304–1314, ago. 2014.

FRUETT, T. **Alterações mineralógicas, químicas e físicas determinadas por fatores bióticos (térmitas e plantas)**. 2020. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

GULLAN, P. J.; CRANSTON, P. S. **Insetos - Fundamentos de entomologia**. 5. ed. Rio de Janeiro: Editora ROCA, 2017. v. 1.

HOLT, J. A.; LEPAGE, M. Termites and soil properties. *In*: ABE, T.; BIGNELL, D. E.; HIGASHI, M. (ed.). **Termites: evolution, sociality, symbioses, ecology**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2000. p. 389–407.

JOUQUET, P. *et al.* Effect of termites on clay minerals in tropical soils: fungus-growing termites as weathering agents. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 53, n. 4, p. 521–528, Dec. 2002.

JOUQUET, P. *et al.* Impact of subterranean fungus-growing termites (Isoptera, *Macrotermitinae*) on chosen soil properties in a West African savanna. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 41, n. 5, p. 365–370, July 2005.

JOUQUET, P. *et al.* Influence of termites on ecosystem functioning. Ecosystem services provided by termites. **European Journal of Soil Biology**, Paris, v. 47, n. 4, p. 215–222, July 2011.

JOUQUET, P. *et al.* Role of the fungus-growing termite *Pseudacanthotermes spiniger* (Isoptera, *Macrotermitinae*) in the dynamic of clay and soil organic matter content. An experimental analysis. **Geoderma**, Amsterdam, v. 139, n. 1/2, p. 127–133, Apr. 2007.

JOUQUET, P.; LEPAGE, M.; VELDE, B. Termite soil preferences and particle selections: strategies related to ecological requirements. **Insectes Sociaux**, Paris, v. 49, n. 1, p. 1–7, Mar. 2002.

KASCHUK, G. *et al.* Termite activity in relation to natural grassland soil attributes. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, n. 6, p. 583–588, dez. 2006.

LAVELLE, P. Faunal activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecosystem function. **Advances in Ecological Research**, London, v. 27, p. 93–132, 1997.

LEE, K. E.; WOOD, T. G. Termites and soils. **The Quarterly Review of Biology**, Washington, DC, v. 47, n. 4, p. 468–469, 1972.

LEPSCH, I. F. **Fomação e conservação dos solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

LIMA, J. G. C. *et al.* Mineralogia de um Argissolo Vermelho-Amarelo da zona úmida costeira do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 2, p. 881–892, abr. 2008.

LIMA, J. T.; COSTA-LEONARDO, A. M. Recursos alimentares explorados pelos cupins (Insecta: Isoptera). **Biota Neotropica**, São Paulo, v. 7, n. 2, p. 243–250, 2007.

LIMA, S. S. **Pastagens no cerrado e a relação com os térmitas construtores de ninhos epígeos**. 2012. 105 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2012.

MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite–citrate system buffered with sodium bicarbonate. **Clays and Clay Minerals**, Long Island City, v. 7, p. 317–327, 1958.

MELLO, D. C. *et al.* Soil magnetic susceptibility and its relationship with naturally occurring processes and soil attributes in pedosphere, in a tropical environment. **Geoderma**, Amsterdam, v. 372, [art.] 114364, 2020.

MELO, V. F. *et al.* Mineralogia e formas de potássio e magnésio em diferentes classes de pesos e tamanhos da fração areia de solos do Triângulo Mineiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 2, p. 219–231, abr. 2004.

MIKLÓS, A. A. W. Biogênese do solo. **Revista do Departamento de Geografia - USP**, São Paulo, p. 190–229, 2012.

MOTA, J. C. A. **Caracterização física, química e mineralógica, como suporte para o manejo dos principais solos explorados com a cultura do melão na Chapada do Apodi - RN**. 2004. 115 f. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

MUJINYA, B. B. *et al.* Clay composition and properties in termite mounds of the Lubumbashi area, D.R. Congo. **Geoderma**, Amsterdam, v. 192, n. 1, p. 304–

315, Jan. 2013.

NOBILE, F. O. **Geologia e mineralogia**. [S. l: s.n.], 2008.

NOIROT, C.; DARLINGTON, J. P. E. C. Termite nests: architecture, regulation and defence. *In*: ABE, T.; BIGNELL, D. E.; HIGASHI, M. (ed.). **Termites: evolution, sociality, symbioses, ecology**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2000. p. 121-139.

OLIVEIRA, M. I. L. *et al.* Incidence of epigeal nest-building termites in Brachiaria pastures in the Cerrado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 1, p. 181–185, mar. 2011.

OLLIER, C.; CLAYTON, K. M. **Weathering**. 2nd ed. London: Longman, 1984. 270 p. (Geomorphology texts).

PEREIRA, J. T. **Manejo de solo e sua influência na biocenose em sistema PRV: um estudo de caso na área da cooperativa de produção agropecuária Cascata Ltda.** 2018. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Agronomia, Instituto EDUCAR, Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Erechim, Pontão, RS, 2018.

RONG, J. I.; BRUNE, A. Nitrogen mineralization, ammonia accumulation, and emission of gaseous NH₃ by soil-feeding termites. **Biogeochemistry**, The Hague, v. 78, n. 3, p. 267–283, May 2006.

SAKO, A.; MILLS, A. J.; ROYCHOUDHURY, A. N. Rare earth and trace element geochemistry of termite mounds in central and northeastern Namibia: mechanisms for micro-nutrient accumulation. **Geoderma**, Amsterdam, v. 153, n. 1/2, p. 217–230, Oct. 2009.

SAMPAIO, E. P. M. **Mineralogia do solo**. Évora: [Universidade de Évora], 2011.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2018.

SARCINELLI, T. S. **Muçunungas: enclaves de vegetação arenícola na Floresta Atlântica de Tabuleiro.** 2010. 205 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

SAVIAN, J. F. **Estudo comparativo da mineralogia magnética no solo e em insetos sociais da Mata Santa Genebra , Estado de São Paulo.** 2009. 84 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Geofísica, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

SCHULZE, D. G. Identification of soil iron oxide minerals by differential x-ray diffraction. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 45, n. 2, p. 437–440, Mar. 1981.

SCHWERTMANN, U. Differenzierung der eisenoxide des bodens durch extraktion mit ammoniumoxalat-lösung. **Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde**, Berlin, v. 105, n. 3, p. 194–202, 1964.

SILESHI, G. W. *et al.* Termite-induced heterogeneity in African savanna vegetation: mechanisms and patterns. **Journal of Vegetation Science**, Knivsta, v. 21, n. 5, p. 923–937, Oct. 2010.

SILVA, L. F. V. **Variabilidade espacial da suscetibilidade magnética para definição de áreas mínimas de manejo de fósforo adsorvido**. 2020. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2020.

SIMÕES, D. F. D. F. **Pedogênese e propriedades físicas, químicas, morfológicas de solos e murundus no Médio Jequitinhonha, Minas Gerais**. 2012. 89 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.

SOUZA JUNIOR, I. G. *et al.* Mineralogia e susceptibilidade magnética dos óxidos de ferro do horizonte B de solos do Estado do Paraná. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 3, p. 513–519, mar. 2010.

SUGUIO, K. **Geologia sedimentar**. São Paulo: Blucher, 2003.

SUGUIO, K. **Introdução a sedimentologia**. São Paulo: Blucher, 1973. v. 6
TEIXEIRA, P. C. *et al.* (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

TORRENT, J.; BARRÓN, V.; LIU, Q. Magnetic enhancement is linked to and precedes hematite formation in aerobic soil. **Geophysical Research Letters**, Washington, DC, v. 33, n. 2, [art.] L02401, [p. 1-4], 2006.

VARGAS NIÑO, A. P. **Influência das propriedades do solo na riqueza de cupins ao longo de gradientes altitudinais do Brasil e da Colômbia**. 2015. 168 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2015.

YANG, P.; BYRNE, J. M.; YANG, M. Spatial variability of soil magnetic susceptibility, organic carbon and total nitrogen from farmland in northern China. **Catena**, Cremlingen, v. 145, p. 92–98, Oct. 2016.