



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

MARIA INÊS LOPES DE OLIVEIRA

**BIOESTRUTURAS EM UM LATOSSOLO VERMELHO
AMARELO PRODUZIDAS POR ORGANISMOS GEÓFAGOS**

Londrina
2010

MARIA INÊS LOPES DE OLIVEIRA

**BIOESTRUTURAS EM UM LATOSSOLO VERMELHO
AMARELO PRODUZIDAS POR ORGANISMOS GEÓFAGOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientadora: Prof. Dra. Maria de Fátima Guimarães

Co-Orientador: Dr. Michel Brossd

Londrina
2010

**Catálogo elaborado pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da
Universidade Estadual de Londrina.**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

O48b Oliveira, Maria Inês Lopes de.

Bioestruturas em um Latossolo Vermelho Amarelo produzidas por organismos geófagos / Maria Inês Lopes de Oliveira. – Londrina, 2010.
177 f. : il.

Orientador: Maria de Fátima Guimarães.

Co-orientador: Michel Brossd.

Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2010.

Inclui bibliografia.

1. Solos – Estrutura – Avaliação – Teses. 2. Biologia do solo – Teses .
3. Fauna do solo – Teses. 4. Latossolos – Teses. I. Guimarães, Maria de Fátima.
II. Brossd, Michel. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU 631.427

MARIA INÊS LOPES DE OLIVEIRA

**BIOESTRUTURAS EM UM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO
PRODUZIDAS POR ORGANISMOS GEÓFAGOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Michel Brossard
IRD-França

Prof. Dr. Miguel Cooper
USP-Esalq

Dr. George Gardner Brown
EMBRAPA Florestas

Prof. Dr. Osvaldo Coelho Pereira Neto
UEL – Londrina – PR

Prof. Dr. João Tavares Filho
UEL – Londrina – PR

Prof. Dra. Maria de Fátima Guimarães
UEL – Londrina – PR

Londrina, 14 de novembro de 2010.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais e meus irmãos; amigos e companheiros de todos as horas, que sempre me transmitiram serenidade mesmo nos momentos turbulentos da vida, e me ensinaram a nunca desistir. Aos meus sobrinhos, Jhenyffer, Pedro, Victor Gabriel, Ricardo, Diego, Raniely, Adriano, Natália e Laríssa por me proporcionarem momentos maravilhosos de descontração e de muita alegria.

AGRADECIMENTOS

Aos grandes mensageiros de Deus, por me abençoar em mais esta etapa de minha vida e que estão sempre ao meu lado, iluminando e abençoando cada um de meus dias.

A minha orientadora professora Dra. Maria de Fátima Guimrães, pela oportunidade de aprendizado, ensinamentos e amizade compartilhada.

Ao meu co-orientador Dr. Michel Brossard que esteve sempre de prontidão, pessoa a quem eu tenho muita admiração e respeito, pela maneira entusiasmada de conduzir a pesquisa e a simplicidade de encarar “as coisas da vida”. Além de dedicar seu tempo de trabalho comigo até altas horas.

Aos Professores do Curso de Pós Graduação em Agronomia da UEL, em especial os professores, João Tavares Filho, Ines Cristina, Amarildo Pasini e Osmar Rodrigues Brito, e, ao Prof. Oswaldo Coelho da Geociências

Aos pesquisadores Philippe Deleporte do CIRAD e Yves BLANCA do IRD que ajudaram no desenrolar da tese durante o período de estágio na École d'Agronomie Supagro em Montpellier- França. E também Dr. Thierry Becquer e Didier Brunet.

A Universidade Estadual de Londrina, pela oportunidade de realizar mais um curso de pós-graduação strictu sensu.

A CAPES pela concessão da bolsa no Brasil e o programa CAPES/COFECUB pela concessão da bolsa para estágio doutorado Sandwich realizado na França.

Ao Institut de Recherche Pour le Développement (IRD), pelo apoio financeiro em todas etapas desta pesquisa e experimentação.

A Embrapa Cerrados, por disponibilizar parte de suas instalações, foram mais de 10 anos de parceria, em especial aos pesquisadores Dr. Eusebio Medrado da Silva, Dra. Adriana Reatto e Dr. Marcos Aurelio C. de Sá. A todos os colegas e amigos pelo apoio no dia-a-dia, na condução do experimento e principalmente pela amizade compartilhada.

A Esalq - USP, em especial o professor Dr. Miguel Cooper, pela disponibilidade do laboratório de microscopia do departamento de Solos, ESALQ/USP.

Técnicos do laboratório de Física no departamento de Solos, ESALQ/USP e micromorfologia, o aluno de pós graduação Raul Shiso Toma pela ajuda.

A todos os colegas de Pós-graduação, especialmente, Marie Bartz, irmã do coração, amiga de todas as horas, pelas aventuras, alegrias e tristezas compartilhadas.

“As palavras só têm sentido se nos ajudam a ver o mundo melhor” Rubem Alves.

OLIVEIRA, Maria Inês L. de. **Bioestruturas em um Latossolo Vermelho Amarelo produzidas por organismos geófagos**. 2010. 177 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010.

RESUMO

Resumo - Os térmitas, insetos da Ordem Isoptera são encontrados em várias regiões do mundo, apresentando cerca de 2800 espécies. Algumas espécies vivem somente dentro do solo e se movimentam em busca de alimento, assim criando estruturas e porosidade. Contudo, poucos trabalhos associam determinadas feições a uma espécie de térmita em particular. O objetivo do trabalho foi conhecer e identificar as estruturas fabricadas pelos térmitas, e associá-las a propriedades físicas do solo. Para estudar o impacto da atividade dos térmitas foi escolhido um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sem variações importantes de granulometria. Para simplificar o efeito dessas atividades foi escolhida uma pastagem cultivada de cinco anos. O trabalho consta do desenvolvimento de uma metodologia de dissecação de volumes do solo, de descrições macro e micromorfológicas e de análises físicas. Inicialmente, a estruturação das dissecações do solo foi orientada para avaliar o efeito dos ninhos de *Cornitermes cumulans* (Nasutermitinae), mas, a abordagem também permitiu salientar o papel de outras espécies de térmitas e de outros grupos de macrofauna e suas organizações estruturais. A homogeneidade granulométrica do solo permitiu salientar o papel de feições produzidas pela atividade dos térmitas e da fauna edáfica associada nas mudanças de densidade do solo. A macroporosidade relacionada com pedoturbação total reconhecida representou um volume médio de $14,4 \text{ dm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ($\text{dp} = 37\%$); a atividade dos térmitas *Cornitermes cumulans* foi discreta, revolvendo de $0,16$ a $0,36 \text{ dm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ de solo; o gênero *Apicotermes* foi mais ativo, de $0,72$ a $1,3 \text{ dm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ de solo; as galerias de coleópteros representaram entre $1,3$ e $2,7 \text{ dm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ de solo revolvido e o minhocucu (Glossoscolecidae) produz estruturas densas representando de 40 a $110 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ de solo. A presença de formigas foi discreta em relação aos térmitas, coleópteros e minhocas. A espécie de térmita *Ruptitermes* sp, embora com atuação discreta, foi capaz de desenvolver sistemas de galerias superficiais protegidas por placas construídas que cobriram a metade da superfície do solo e chegaram a representar uma massa anual de solo ingerido de uma tonelada por hectare. Para completar o estudo, foi conduzido um experimento em condições controladas, com o objetivo de testar um modelo térmita - feição estrutural, para descrever os produtos das atividades dos térmitas. O modelo foi *Cornitermes cumulans* - feições densas ou estrutura granular de Bw3. O conjunto de resultados mostra uma grande diversidade de feições, uma macroporosidade ativada pelos térmitas, e feições microestruturais particulares que explicam observações realizadas no campo. O conjunto de dados de pedoturbação obtidos poderia manter um alto nível de mistura de matérias entre diferentes horizontes no solo, e ser uma das explicações da fraca diferenciação de horizontes observada nos Latossolos.

Palavras-chave: Bioestruturas. Pedoturbação. Porosidade. Macrofauna do solo. Micromorfologia. Termitária.

OLIVEIRA, Maria Inês L. de. **Biostructures in a red yellow Latosol produced by geophageous organisms.** 2010. 177 f. Thesis (Doctorate in Agronomy) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010

ABSTRACT

Abstract – Termites, insects of the Order of Isoptera, are observed worldwide and represent more or less two thousands and eighth hundred species. Some of them live in the soil and their behaviour of nutrition creates structures and porosity. Nevertheless, few works associate the features to determined species. The aim of this work was to recognise and identify the structures, which were produced by termites into the soil, and then associate them to physical properties. A Latosol with a minimum of textural variability, from the Cerrado bioma, was choosing. In order to simplify the termite effect, the site was a five years old cultivated pasture. The work consists in a development of a soil volume dissection, macro and micromorphological descriptions, and physical analysis. Initially, the structure of the soil dissections was oriented to the description of the effects of the *Cornitermes cumulans* (Nasutermitinae) colonies, but the approach permitted to stress the effects of others species and faunal groups and theirs features produced into the soil. The soil textural homogeneity allowed measuring the soil bulk density modifications within the faunal effects. The macroporosity that had a pedoturbation origin represented the mean volume $14.4 \text{ dm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ (CV = 37%); the *Cornitermes cumulans* activities were discrete, from 0.16 to $0.36 \text{ dm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ soil; the genus *Apicotermes* had a significant action from 0.72 to $1.3 \text{ dm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ soil; the galleries of coleoptera represented from 1.3 to $2.7 \text{ dm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ soil, and an earthworm (Glossoscolecidae) produced dense structures representing from 40 to $110 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ soil. The ant activities were discrete in comparison to termites, coleoptera and earthworms. The termites *Ruptitermes sp.*, appeared with a discrete activity, but was able to develop a superficial gallery system protected by sheathings that covered more or less a half of the soil surface and could represent $1000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ of ingested soil. To complete the study, a controlled experimentation was done to test a termite-structural feature, and describe the products of the colonies activity. The model was *Cornitermes cumulans*-dense features or granular feature from Bw₃ horizon. The results allowed a diverse set of pedofeatures, a macroporosity activated by the termites, and peculiar microstructural features that explained in situ observations. This work shows that the data of soil pedoturbated could maintain a significant mixture of materials from different soil horizons, and this result could be one of the explanations why the differentiation of horizons is low in Latosols.

Keywords: Biogenic structure. Pedoturbation. Porosity. Soil macrofauna. Soil fabric. Termitaria.

OLIVEIRA, Maria Inês L. de. **Biostructures d'un Latosol produites par des organismes géophages**. 2010. 177 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010

RESUMÉ

Resumé – Les termites, insectes de l'Ordre des Isoptères, sont observés dans diverses régions du monde, et comprennent environ deux mil huit cent espèces. Certaines d'entre elles vivent dans le sol et s'y déplacent à la recherche d'aliments, et ainsi créent des structures et de la porosité. Cela étant, peu de travaux associent des traits pédologiques à des espèces bien déterminées. L'objectif du travail a été de reconnaître et identifier les structures fabriquées par des termites dans le sol, puis les associer aux propriétés physiques. Afin de mener cette étude il a été choisi un Latosol du Cerrado qui ne soit pas le siège d'importantes variations granulométriques. Pour simplifier l'effet de l'activité des termites le terrain choisi était un pâturage cultivé de cinq ans. Le travail comporte le développement d'une méthodologie de dissection de volumes du sol, des descriptions macro et micromorphologiques et des analyses physiques. Initialement, la structure des dissections du sol était orientée afin de décrire les effets des colonies épigées de *Cornitermes cumulans* (Nasutermitinae), cependant, l'approche a permis d'appréhender le rôle d'autres colonies et groupes fauniques ainsi que les traits qu'ils ont produit. L'homogénéité granulométrique du sol a permis de juger de l'effet de la faune du sol sur les modifications de densité apparente du sol. La macroporosité engendrée par la pédoturbation totale a représenté un volume moyen de $14,4 \text{ dm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ (CV = 37%) ; l'activité des termites *Cornitermes cumulans* a été discrète, de $0,16$ à $0,36 \text{ dm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ de sol, le genre *Apicotermes* a eu une action plus significative de $0,72$ à $1,3 \text{ dm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ de sol ; les galeries de coléoptères ont représenté entre $1,3$ et $2,7 \text{ dm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ de sol, et un vers de terre Glossoscolecidae a produit des structures denses qui ont représenté entre 40 et $110 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ de sol. La présence de fourmis a été discrète par rapport à celle des termites, coléoptères et vers de terre. Le termite *Ruptitermes sp.*, bien qu'ayant apparemment une activité discrète, a été capable de développer un système de galeries superficielles protégées par des placages terreux qui ont couvert sensiblement la moitié de la surface du sol et pouvaient représenter $1000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de sol ingéré. Pour compléter l'étude, il a été conduit une expérimentation en conditions contrôlées afin de tester un modèle termite-trait structural, et décrire les produits des activités des colonies. Le modèle était *Cornitermes cumulans*-traits denses ou structure microagrégée de Bw_3 . L'ensemble des résultats a conduit à l'observation d'une grande diversité de traits pédologiques, une macroporosité activée par les termites, et des traits microstructuraux particuliers qui expliquent les observations *in situ*. L'ensemble du travail montre que les volumes de sol pédoturbé peuvent maintenir à un niveau important les mélanges de matériaux de différents horizons du sol, et cela peut être une des explications de la faible horozonation observée dans les Latosols.

Mots-clés: Structures biogéniques. Pédoturbation. Porosité. Macrofaune du sol. Micromorphologie. Termitaria.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Diagrama da interação térmita-solo	24
Figura 2.2 - Ninho: Representação esquemática das partes constituintes	26
Figura 2.3 - Representação esquemática dos tipos de termiteiros	27
Figura 2.4 - Representação esquemática da organização das colônias em diferentes tipos de ninho	28
Figura 2.5 - Aspecto em detalhe da superfície de uma placa de excrementos de <i>Ruptitermes</i> sp (escala 0,25 mm)	35
Figura 2.6 - Fotomicrografias de estruturas fabricadas ou modificadas pela macrofauna do solo	39
Figura 2.7 - Diferentes tipos de microagregados de latossolos observados em lâmina delgada ao microscópio ótico.....	41
Figura 2.8 - Fotomicrografia de estruturas de um horizonte Bw.....	43
 ARTIGO A	
Figura 3.1 - Morfologia das placas superficiais de <i>Ruptitermes</i> sp.....	55
Figura 3.2 - Morfologia de placa superficial de <i>Ruptitermes</i> sp.....	56
Figura 3.3 - Microfotografias das placas superficiais de <i>Ruptitermes</i> sp.....	57
Figura 3.4 - Microfotografias de placas superficiais de <i>Ruptitermes</i> sp. (escala 1 mm).....	58
Figura 3.5 - Microfotografias de blocos a partir de placas superficiais de <i>Ruptitermes</i> sp. cortes perpendicular a placa.....	59
Figura 3.6 - Imagens originais e as binarizadas correspondentes (poróides em preto).....	61
 ARTIGO B	
Figura 4.1 - Dissecção de trincheira ao redor de um ninho de <i>Cornitermes cumulans</i>	72
Figura 4.2 - Granulometria, porosidade, localização de amostragem e exemplos de estruturas nos perfis estudados.....	75

Figura 4.3 - Ninho de <i>Cornitermes cumulans</i> e detalhe da parede exterior constituída por 3 classes de agregados de cor bruna das camadas superficiais do solo, vermelho e amarelo/vermelho do horizonte BW	76
Figura 4.4 - Detalhes de microestruturas e feições observadas	78
Figura 4.5 - Detalhes de microestruturas e feições observadas	79
Figura 4.6 - Tipologia de galerias de térmitas	82
Figura 4.7 - Feições de coleópteros e minhocas	82
Figura 4.8 - Distribuição do tamanho de agregados obtidos pelo método do tamisamento a seco (valores médios de todos os perfis).	83
Figura 4.9 - Densidade do solo do perfil de referência.....	85

ARTIGO C

Figura 5.1 - Exemplos de galerias	98
Figura 5.2 - Exemplos de feições	99
Figura 5.3 - Outras feições.....	100
Figura 5.4 - Atividade da fauna	104
Figura 5.5 - Massa de solo revolvido pelo minhocoçu, os números sobre a barra indica o intervalo de confiança	105

ARTIGO D

Figura 6.1 - A) vaso com solo, ninho e alimento; B) mangueira transparente para conexão entre os vasos; C) vaso para alimentação; 1) Ninho de <i>Cornitermes cumulans</i> ; 2) Tubo de PVC para fornecimento de água; 3) cápsula porosa.....	115
Figura 6.2 – Modelo experimental com volumes macroestruturais densos submetidos à atividade de térmitas <i>Cornitermes cumulans</i>	117
Figura 6.3 - Efeito da atividade de <i>Cornitermes cumulans</i> nos volumes macroestruturais	117
Figura 6.4 - Estruturas produzidas por <i>Cornitermes cumulans</i> no experimento com estruturas densas	119
Figura 6.5 - Fotomicrografias de estruturas produzidas por <i>Cornitermes cumulans</i>	120
Figura 6.6 - Galerias de térmita <i>Cornitermes cumulans</i>	121

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 -	Relação das referencias que abordam os processos de construções e comportamento dos térmitas	33
Tabela 2.3 –	Tipologia da atividade dos térmitas e tipo de feições estruturais produzidas com suas características de macro e microporosidade, e impactos em diversas propriedades do solo relatados por diferentes autores	37
Tabela 2.4 –	Relação de alguns trabalhos que quantificaram o volume de solo revolvido pela atividade dos térmitas.....	45
 ARTIGO A		
Tabela 3.1 –	Análise de variância da cobertura do solo pelas placas determinadas pela análise das imagens (n=51).....	55
Tabela 3.2 –	Descrição macro e micromorfológica das placas de <i>Ruptitermes</i> sp.	57
Tabela 3.3 –	Análise de imagens de lâminas delgadas de placas superficiais de <i>Ruptitermes</i> sp	62
Tabela 3.4 –	Resultados das análises físicas e químicas para placa e solo adjacente.....	63
 ARTIGO B		
Tabela 4.1 –	Caracterização física e química do Latossolo Vermelho Amarelo estudado.....	71
Tabela 4.2 –	Síntese da descrição micromorfológica do perfil de referência.....	79
Tabela 4.3 –	Características micromorfológicas de feições biológicas encontradas nos perfis.	81
Tabela 4.4 –	Densidade do solo (Ds), em kg.dm ⁻³ , de amostras contendo feições biológicas	84
 ARTIGO C		
Tabela 5.1 –	Localização e número total de feições biológicas por profundidade e distância do ninho, observadas em quatro trincheira	102

Tabela 5.2 – Principais feições biológicas amostradas na camada 0-40 cm
(excrementos intactos).....103

Tabela 5.3 – Macroporosidade oriunda da atividade da fauna em quatro
trincheiras106

ARTIGO D

Tabela 6.1 – Principais características físicas e químicas das estruturas utilizadas.....114

Tabela 6.2 – Teores totais de carbono e nitrogênio das estruturas densas
amostradas no campo e nos volumes submetidos à ação dos térmitas.....123

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	18
2	REVISÃO DE LITERATURA: UMA VISÃO DA INTERAÇÃO FÍSICA TÉRMITA-SOLO	21
2.1	RESUMO E ABSTRACT	21
2.2	INTRODUÇÃO	22
2.3	TÉRMITAS	23
2.4	A MACROFAUNA INVERTEBRADA DO SOLO DOMINADA PELOS TÉRMITAS EM CONTEXTOS INTERTROPICAIS	29
2.5	OS RECURSOS TRÓFICOS E ESPACIAIS: PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO DE NINHOS E TÚNEIS.....	30
2.6	ATIVIDADES DE TÉRMITAS E MICROESTRUTURA DO SOLO	35
2.7	PEDOTURBAÇÃO PELA ATIVIDADE DE TÉRMITA	44
2.8	CONCLUSÕES	46
3	ARTIGO A: ESTRUTURA FUNCIONAL PRODUZIDA POR <i>RUPTITERMES</i> SP (ISOPTERA: TERMITIDEA) NA SUPERFÍCIE DO SOLO EM SAVANA NEOTROPICAL	48
3.1	RESUMO E ABSTRACT	48
3.2	INTRODUÇÃO	49
3.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	51
3.3.1	Área de Estudo	51
3.3.2	Contagem e Distribuição das Feições na Superfície do Solo.....	51
3.3.3	Coleta de Amostras	52
3.3.4	Amostragem para Macro e Micromorfologia	52
3.3.5	Cálculos de Agregados por Classe e Forma.....	53
3.3.6	Caracterização Físico-química (Placas e solo Adjacente)	54
3.4	RESULTADOS	54
3.4.1	Atividade do <i>Ruptitermes</i> sp na Superfície do Solo	54
3.4.2	Morfologia e Micromorfologia do Conjunto de Placas	56
3.4.3	Descrição de Agregado por Análise de Imagem.....	60
3.4.4	Caracterização Física e Química (Tabela 3.4)	62

3.5	DISCUSSÃO	63
3.6	CONCLUSÃO.....	66
4	ARTIGO B: PEDOTURBAÇÃO EM UM LATOSSOLO: FEIÇÕES ESTRUTURAIS PRODUZIDAS POR TÉRMITAS E A FAUNA EDÁFICA ASSOCIADA - RELAÇÕES COM AS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO SOLO.....	68
4.1	RESUMO E ABSTRACT	68
4.2	INTRODUÇÃO	69
4.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	70
4.3.1	Área de Estudo	70
4.3.2	Metodologia de Dissecção do Perfil de Solo e de Estruturas Biológicas.....	71
4.3.3	Coleta de Amostras de Solo e de Estruturas Biológicas	72
4.3.4	Confecção, Aquisição das Imagens e Descrição das Lâminas Delgadas.....	73
4.3.5	Caracterização Física das Amostras.....	73
4.3.6	Tratamento Estatístico.....	74
4.4	RESULTADOS	74
4.4.1	Caracterização Morfológica e Granulométrica do Solo.....	74
4.4.2	Caracterização Micromorfológica.....	77
4.4.2.1	Micromorfologia das camadas do perfil.....	77
4.4.2.2	Micromorfologia das feições	79
4.5	ATRIBUTOS FÍSICOS	83
4.5.1	Estabilidade de Agregados.....	83
4.5.2	Resistência a Penetração, Densidade do Solo e Densidade das Feições.....	84
4.6	DISCUSSÃO	85
4.7	CONCLUSÕES	90
5	ARTIGO C: MACROMORFOLOGIA DE FEIÇÕES ESTRUTURAIS PRODUZIDAS POR TÉRMITAS E A FAUNA EDÁFICA ASSOCIADA EM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO: IMPACTO NA POROSIDADE	92
5.1	RESUMO E ABSTRACT.....	92
5.2	INTRODUÇÃO	93
5.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	94
5.3.1	Área de Estudo	94

5.3.2	Metodologia de Dissecação do Perfil de Solo e de Estruturas Biológicas	95
5.4	RESULTADOS	96
5.4.1	Morfologia de Estruturas Reconhecidas de Térmitas e outras Feições de Origem Biológica	96
5.4.2	Distribuição de Feições Biológicas no Perfil	100
5.5	DISCUSSÃO	106
5.6	CONCLUSÕES	109
6	ARTIGO D: ANÁLISE DA ATIVIDADE DE COLÔNIAS DE TÉRMITAS SOBRE ESTRUTURAS EDÁFICAS MACRO E MICROAGREGADAS EM CASA DE VEGETAÇÃO	111
6.1	RESUMO E ABSTRACT	111
6.2	INTRODUÇÃO	112
6.3	MATERIAL E MÉTODOS	113
6.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	116
6.4.1	Modelo Experimental com Volumes Macroestruturais Densos (Coprólito de Minhocuçú)	116
6.4.2	O Modelo Experimental com Volumes Granular Forte (Solo Estruturado da Camada Bw3)	118
6.4.3	Novas Construções de Galerias e Estruturas em todos os Vasos	118
6.4.4	Carbono e Nitrogênio das Macroestruturas Densas	122
6.5	CONCLUSÕES	123
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES	124
	REFERÊNCIAS	128
	APÊNDICES	144
APÊNDICE A –	Descrição morfológica do perfil de referência	145
APÊNDICE B –	Parâmetros físicos; estabilidade de agregados e distribuição da percentagem de agregados $F_i (\Phi_L) (<0,84 \text{ mm})$	148
APÊNDICE C –	Dissecação dos perfis de quatro trincheiras	162



Foto: Feições pedológicas produzidas pela atividade da macrofauna

1 INTRODUÇÃO GERAL

Uma grande parte dos estudos sobre a macrofauna do solo enfatiza as atividades dos térmitas, principalmente pela sua densidade populacional em ambientes tropicais. Outros aspectos estudados estão relacionados com o funcionamento biológico do solo sob sistemas naturais e agrícolas. Os térmitas merecem destaque também por suas engenhosas construções que servem de abrigo para as colônias. De fato, a pedologia tem abordado a relação entre a atividade biológica e as feições macro e micro-estruturais no solo. Porém, um estudo mais detalhado sobre a atividade de espécies e grupos taxonômicos, as feições produzidas, e o impacto na física do solo, se faz necessário.

Informações sobre a atividade de térmitas ainda são escassas nas revistas do Brasil, e, de maneira geral ainda são vistos como pragas, esquecendo o importante papel ecológico dentro dos ecossistemas. Os livros tratam da ecologia e distribuição, enquanto as teses e artigos começam a associar a influência dos térmitas na estruturação do solo. Esta ambigüidade do papel dos térmitas já vem sendo discutida a longo tempo. Smeathman (1781), com sua visão naturalista, defende a idéia de que erradicar os térmitas traria conseqüências a médio ou longo prazo, de perda de fertilidade dos ecossistemas. Em contrapartida, Drummond (1885) enfoca as conseqüências para a agricultura, e, a gravidade dos danos causados a curto prazo, mas reconhece que estes organismos são de primeira importância nos ambientes tropicais. Nos últimos vinte anos, os ecólogos definem os térmitas como organismos engenheiros do ecossistema, no sentido de reflexões sobre os serviços ecossistêmicos para a biodiversidade e o solo¹.

Os trabalhos mais destacados aparecem nos estudos da textura do solo. As caracterizações morfológicas dos solos enfatizam a presença de horizontes, de estrutura granular forte, compostos por microagregados bem peculiares. Estas características são associadas por alguns autores ao resultado da atividade da fauna invertebrada do solo, especialmente dos térmitas. Trabalhos que associam as feições a uma determinada espécie são escassos, exceção para Eschenbrenner (1986) e Jungerius, Van Den Ancker e Múcher

¹ Millenium Ecosystem Assessment: <http://www.maweb.org/en/index.aspx>

(1999) que descreveram as microestruturas de solos associando suas semelhanças com microestruturas fabricadas pelos térmitas.

Neste estudo propomos uma abordagem do conhecimento da relação entre o estado estrutural do solo e a atividade biológica, particularmente de algumas espécies de térmitas do Cerrado. Busca-se associar avaliações em diferentes escalas do estado estrutural e da porosidade observados no campo e em casa de vegetação para um Latossolo. O trabalho é apresentado em cinco capítulos.

O primeiro capítulo, através de uma revisão bibliográfica, salienta uma visão pedológica dos processos oriundos da atividade dos térmitas, com ênfase nos geófagos.

Habitualmente os térmitas são caracterizados pelas estruturas diversas e originais que protegem as colônias, de fato, eles constroem uma grande diversidade de feições visivelmente discretas, tanto na superfície como dentro do volume do solo. Isto é o objeto da continuação do trabalho.

O segundo capítulo destaca as feições observadas na superfície do solo construídas por uma espécie pequena, visivelmente discreta e mal conhecida, o que não impede que a pedoturbação calculada seja particularmente relevante.

No terceiro capítulo foi desenvolvida uma metodologia de campo a fim de reconhecer, descrever e amostrar feições que possam ser claramente atribuídas às espécies reconhecidas. Estas feições são relacionadas com os resultados obtidos a campo de metodologias clássicas de física do solo.

Prosseguindo o estudo anterior, com o mesmo material, no quarto capítulo, o esforço é direcionado para a porosidade do solo. A abordagem descreve macro e micromorfológicamente as feições mais comuns observadas e avalia o determinismo destas na porosidade. Uma primeira proposta da contribuição da porosidade gerada no solo é feita e discutida.

O quinto capítulo trata do comportamento de uma das espécies mais comuns de térmitas de montículo em um ambiente perturbado. Trata-se de dois modelos térmitas- feições estruturais, densa e granular, em casa de vegetação, e avalia os tipos de construções e a capacidade de organização e reestruturação do volume de solo ofertado.



Foto: Ninho arbóreo e epígeo de térmitas

UMA VISÃO DA INTERAÇÃO FÍSICA TÉRMITA-SOLO

A influência da macrofauna edáfica nas propriedades do solo foi reconhecida há muito tempo, e os térmitas, juntamente com as formigas, são, em densidade, seus principais representantes.

Neste capítulo será salientada uma visão pedológica dos processos oriundos da atividade dos térmitas, com ênfase nos geófagos.

2 REVISÃO DE LITERATURA: UMA VISÃO DA INTERAÇÃO FÍSICA TÉRMITA- SOLO

2.1 RESUMO

As pesquisas realizadas durante os últimos 30 anos têm salientado os processos de atividades biológicas no solo, colocando numa visão de ecologia sistêmica os organismos do solo considerados como um recurso para os ecossistemas naturais e agrosilvopastoris. Esta revisão pretende salientar uma visão pedológica dos processos oriundos da atividade dos térmitas, com ênfase nos geófagos. A influência da macrofauna nas propriedades do solo foi reconhecida a muito tempo e, os térmitas, juntamente com as formigas, são, em densidade, os principais representantes dessa macrofauna. Sua atividade mescla materiais no momento das construções e entre as feições são identificados os chamados remontes biológicos, oriundos do solo da subsuperfície. Há diversos trabalhos que quantificam o volume/ou massa de solo revolvido durante as escavações pelos térmitas que passam de $1.000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$. A manifestação visível da atividade biológica se dá pela formação de estruturas de natureza, tamanho e constituição variada. Um aspecto importante verificado é a semelhança entre as estruturas microagregadas existentes no solo e as criadas pelos térmitas. Pode-se considerar que, com as minhocas e formigas, os térmitas promovem a homogeneização vertical do perfil do solo, levando a uma menor diferenciação morfológica e mineralógica do solo da profundidade para superfície. No entanto, estudos que permitam atribuir uma atividade como cavidades, galerias e aterros, a um tipo de feição já existente, assim como o efeito delas nas propriedades do solo ainda são escassos.

Palavras chave: Térmita geófago. Cupim. Estrutura. Porosidade. Pedoturbação.

ABSTRACT

During the last thirty years biological processes in soils were highlighted, showing a systemic ecological view of soil organisms, which are considered as a resource for natural and transformed ecosystems. In this paper we pretend to point out a pedological vision of processes allowed by termites and in particular the geophagous. The influence of soil macrofauna on soil properties is recognised, and termites, with ants, are groups that in density represent the main macrofauna in many inter-tropical ecosystems. Their activity performed mixtures of soils and vegetal materials. Considering the peds and the pedoturbation activities, some works quantifying soil volume or mass, showed that the excavations by termites could represent more or less $1000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$. The main visual of this biological activity is the formation of structures that have a high diversity of nature, size and fabric. At the micromorphological scale, the resemblance within some soil microaggregates and termites aggregates have to be stressed. It is necessary to consider that termites, with ants and earthworms, are organisms promoting a vertical homogenisation of soil volume, allowing in some situation for a diminution of mineralogical and morphological differentiation from deep to surface soil layers. Nevertheless, new studies are necessary to try to define the termite 19 species origin of

cavities, galleries, and landfills with species, in order to have a better understanding of their role in soil properties.

Keywords: Soil feeding termite. Microstructure. Structure. Porosity. Pedoturbation.

2.2 INTRODUÇÃO

As pesquisas realizadas durante os últimos 30 anos têm salientado os processos de atividades biológicas no solo, considerando os organismos do solo como um recurso para os ecossistemas naturais e agrosilvopastoris.

Inicialmente conhecidos como pragas, os térmitas aparecem pouco a pouco, em trabalhos taxonômicos e biológicos desde o século XVIII (Drummond, 1885). O papel que desempenham nos ecossistemas começou a ser estudado a partir de 1950. Esses estudos foram realizados em diferentes áreas, iniciando-se por pesquisas de sociobiologia e biogeografia. Atinente a pedologia, os primeiros estudos sobre transporte de solo e formação de bioestruturas foram conduzidos por Nye (1955), Sys (1955), Boyer (1956) e Stoops (1964). Grassé (1950) reconhece a importância dos térmitas para o solo em oposição às idéias de reconhecê-los unicamente como pragas, considerando-os como importante componente do ecossistema; levando a entender que sem a atividade dos térmitas os principais mecanismos de funcionamento dos solos tropicais (mineralização da matéria vegetal, aeração e estruturação) seriam perturbados.

A visão dos térmitas na agronomia se opõe às opções da agro-ecologia na enumeração de benefícios e perdas para os sistemas agrosilvopastoris (DUBOISSET; SEIGNOBOS, 2005). Depois de uma primeira época dedicada aos conhecimentos básicos, a partir de 1970 os estudos foram voltados à importância da contribuição dos térmitas nos ecossistemas, e, várias sínteses foram publicadas (LEE; WOOD, 1971; WOOD, 1976; BACHELIER, 1978; LAL, 1987; WOOD, 1988; BLACK; OKWAKOL, 1997).

Considerando a fauna do solo e o seu papel no funcionamento do solo, estima-se que a diversidade funcional seja mais importante que a diversidade taxonômica (BRUSSAARD et al., 1997). O conjunto de trabalhos desenvolvidos nos últimos quinze anos estrutura o paradigma atual: no contexto de perturbações tanto antrópicas como naturais, se considera que a manutenção da diversidade dos organismos do solo é indispensável para manter suas funções e serviços ofertados pelo solo aos ecossistemas

(WARDLE, 2002). Mas, as relações entre diversidade taxonômica e função ainda devem ser demonstradas.

Os térmitas compõem uma grande diversidade de gêneros e parte deles atuam ativamente no solo. Neste contexto, esta revisão pretende salientar uma abordagem pedológica dos processos oriundos da atividade dos térmitas, com ênfase nos geófagos. Estes processos abrangem atividades de construções (ninhos, galerias, túneis, cavidades) e homogeneização do solo, que conduzem a uma pedoturbação importante da cobertura pedológica. Esse tipo de informação ainda é escassa nas revistas do Brasil. A este respeito, alguns pontos relacionados ao Bioma Cerrado serão salientados.

2.3 TÉRMITAS

O vocábulo térmita provém do latim *termes* (tarmes)-*ŕtis*, que significa verme que rói a madeira. Os térmitas, insetos da Ordem Isoptera, conhecidos comumente no Brasil como cupins (provém da língua tupi “*kupî'i*”), são insetos eusociais, isto é, apresentam comportamento diferenciado formando grupos funcionais denominados de “castas”, que são responsáveis por diferentes tarefas. A casta estéril é representada pelos operários e soldados, sendo que os primeiros são os responsáveis pela busca e consumo imediato do alimento, enquanto que os soldados atuam na defesa da colônia, e a casta fértil, casal real (rei e rainha), desenvolve as atividades reprodutivas (KRISHNA; 1969; CONSTANTINO, 2005). São organismos de tamanhos variados, segundo os gêneros, podendo atingir até 20 mm de comprimento e 8 mm de circunferência na casta alada (GULLAN; CRANSTON, 2008). Maeterlink (1928) relata que uma rainha de *Termes natalenses* (Termitidae) em reprodução mede 100 mm de comprimento e 77 mm circunferência, enquanto que os operários da mesma espécie medem 7 mm x 4 mm.

Os térmitas são encontrados em várias regiões do mundo. Até hoje são descritas mais de 2.600 espécies, sendo que a região neotropical engloba 537 espécies (ABE et al., 2002; CONSTANTINO, 2005, VILELA et al., 2008). No Brasil, contam cerca de 280 espécies já registradas; destacando-se mais de 150 espécies presentes somente no Cerrado, e destas, *Cornitermes cumulans* (Nasutitermitinae) é uma das mais estudadas, podendo ser considerada como uma espécie-chave, “keystone species” (REDFORD, 1984).

Os Isoptera têm grande importância ecológica em ecossistemas tropicais, quando consideradas as modificações que podem causar no ambiente, desde alterações da paisagem até modificações nas propriedades físicas e químicas do solo (HOLT; LEPAGE, 2000). Uma de suas peculiaridades é digerir celulose e lignina, devido aos simbiossomas presentes em seu aparelho digestivo (ABE; BIGNELL; HIGASHI, 2000; BRAUMAN, 2000); particularmente, a lignina é solubilizada no intestino dos térmitas, habitado por streptomycetes para liberar a celulose, componente energético de base (HORWATH, 2007), tendo assim um importante papel nos processos de ciclagem da matéria orgânica (MO), dos nutrientes e na estruturação do solo (WOOD; SANDS, 1978), (Figura 2.1). Os térmitas podem ser apontados como um dos grupos de insetos mais adequados para monitoramento e análise de qualidade ambiental (BROWN JUNIOR, 1997).

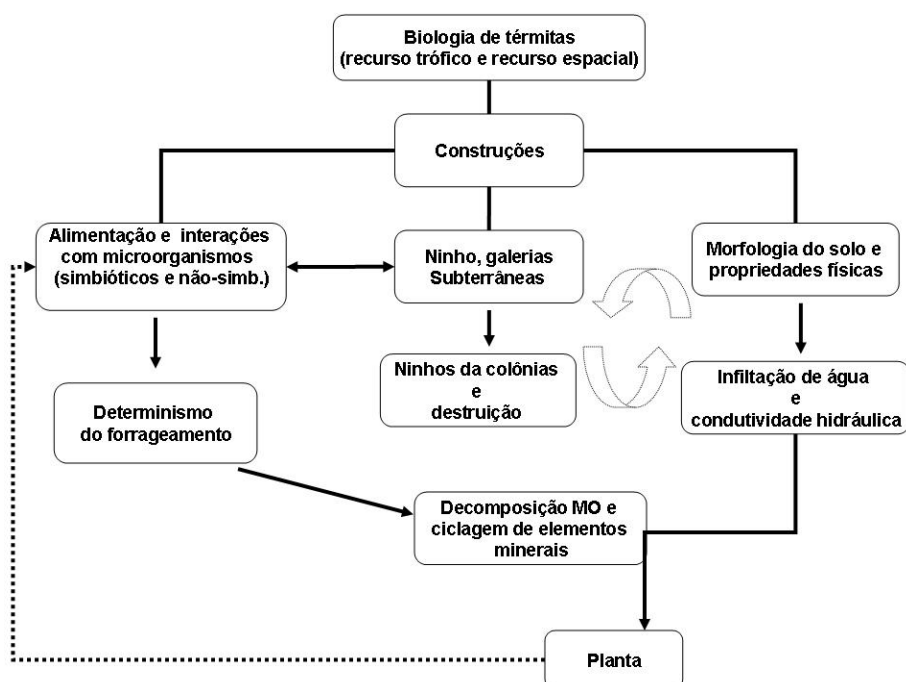


Figura 2.1 – Diagrama da interação térmita-solo:

Fonte: Adaptado de Holt e Lepage (2000).

Os ninhos (termitária, cupim, cupinzeiro, termiteiro, termiteira) (Figura 2.2, 2.3 e 2.4), constituem a estrutura central da colônia, são de tamanhos variados, e em sua maioria, são constituídos das seguintes partes (GRASSÉ, 1984):

- A câmara nupcial (endoécia), onde vive o casal real e onde são depositados os ovos;
- Os canais de comunicação (periécia): galerias periféricas, subterrâneas ou cobertas, que ligam a endoécia ao exterior e permitem o acesso ao recurso trófico e ao material subterrâneo (argila, solo, água);
- As bolsas de manutenção climática (paraécia): espaço existente entre o cupinzeiro e o solo que o circunda, destinado à manutenção de umidade e temperatura constantes no interior do ninho;
- A câmara de celulose (berçário): constitui a maior parte do ninho, é o local onde é depositada a matéria orgânica e são criadas as formas jovens.

Considerando os gêneros observados no bioma Cerrado, esses organismos constroem ninhos com formas e características diferenciadas de acordo com cada espécie, mas a heterogeneidade morfológica é fator importante. Os ninhos arbóreos são constituídos de argila e MO, com túneis e galerias cobertos que dão acesso ao recurso trófico (Figura 2.4a). Nos ninhos epígeos, Figura 2.4b, a parte externa da estrutura é constituída de solo cimentado com saliva e argila (BOYER, 1956; LEE; WOOD, 1971; BACHELIER, 1978), sendo mais dura que a parte interna, que é celulósica com galerias horizontais superpostas e separadas por paredes verticais revestidas por camada escura e formatos que variam de cilíndricos a cônicos. Os ninhos subterrâneos são complexos e podem ser formados por redes de túneis, galerias e cavidades, podem ser difusos, são difíceis de serem visualizados, e as galerias ocorrem em várias direções (Figura 2.4c).

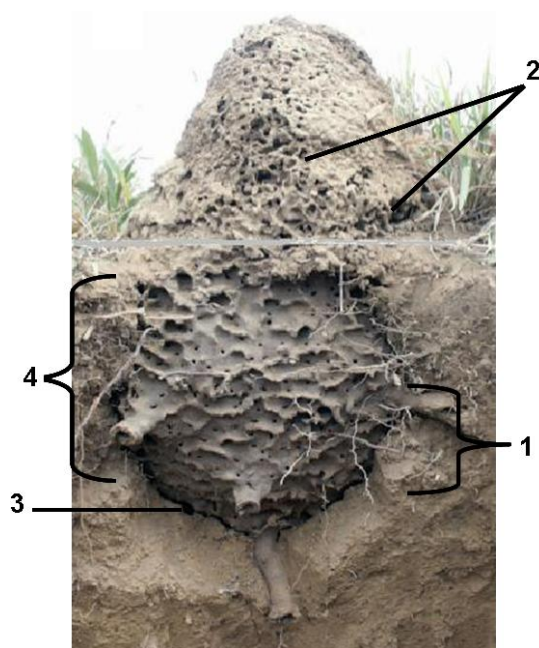


Figura 2.2 – Ninho: Representação esquemática das partes constituintes: **1)** Câmara nupcial; **2)** Canais de comunicação; **3)** Bolsas de manutenção climática; **4)** Câmara de celulose:

Foto: C. Jost (2008)

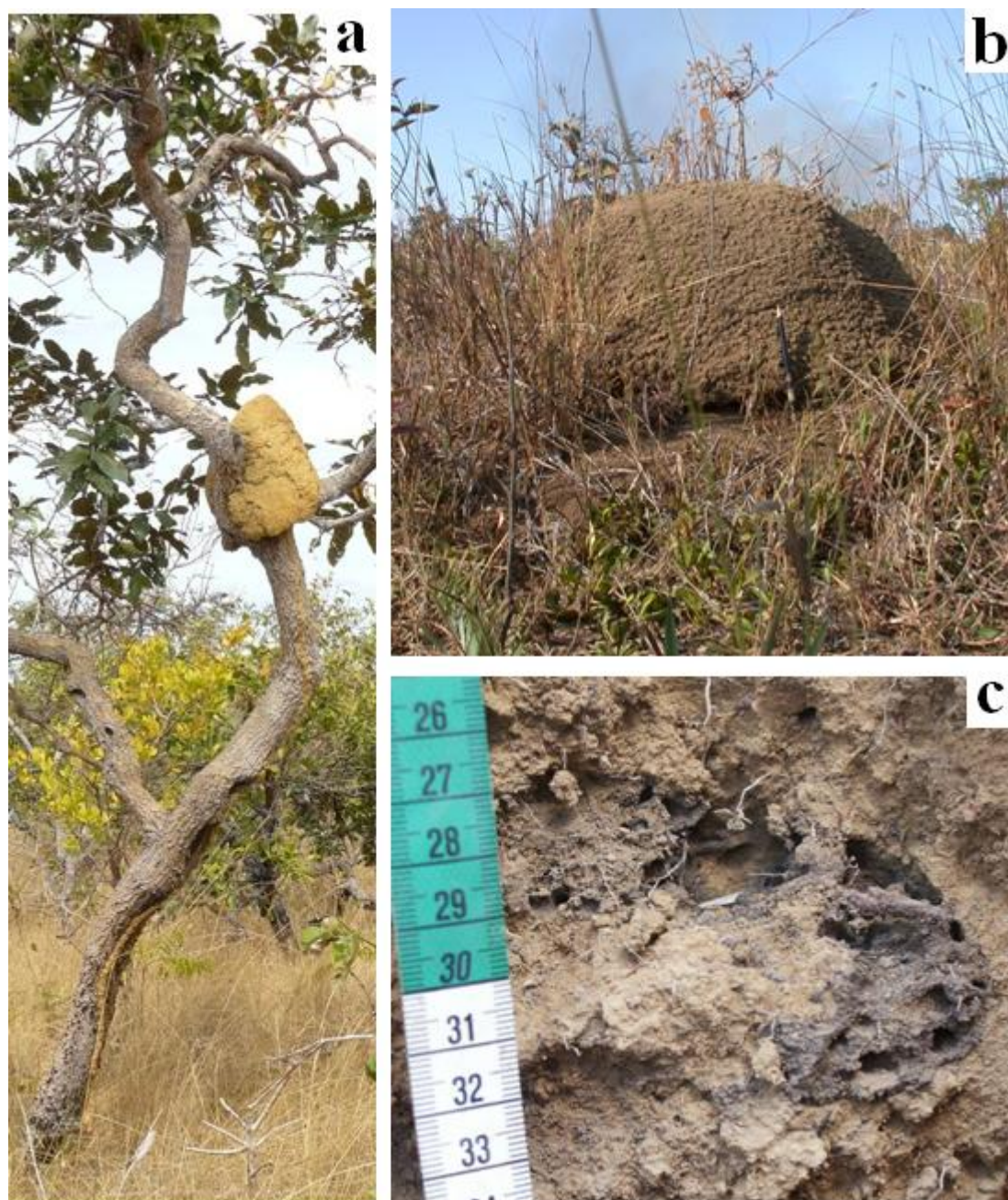


Figura 2.3 – Representação esquemática dos tipos de termiteiros; A) Ninhos arbóreos, constituídos de argila e matéria orgânica e túneis cobertos que dão acesso ao recurso trófico; B) Ninhos epígeos, (cilíndricos/cônicos), parte externa de solo cimentado com saliva e argila; C) Ninhos subterrâneos e difusos.

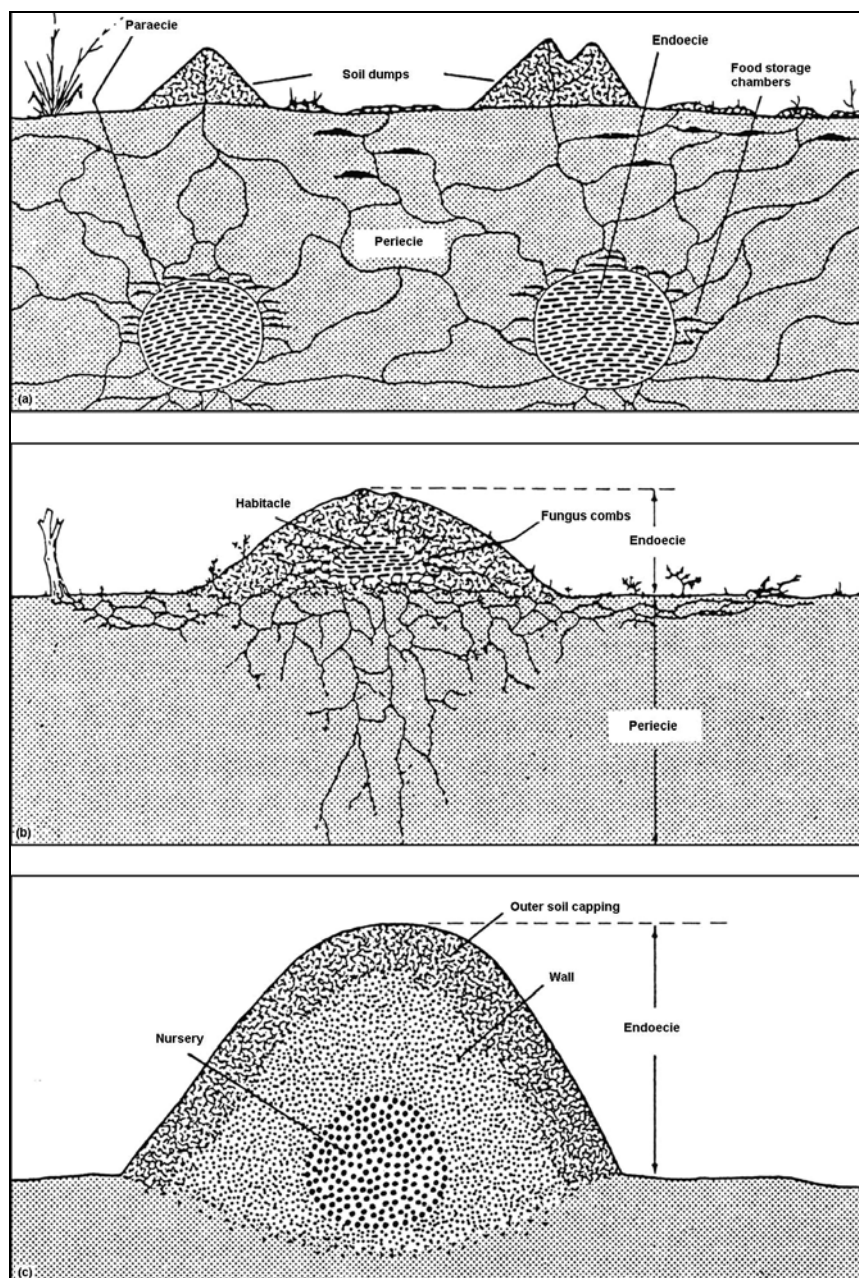


Figura 2.4 – Representação esquemática da organização das colônias em diferentes tipos de ninho; **a)** *Hodotermes mossambicu*; **b)** *Macrotermes subhyalinus*; **c)** *Nasutitermes exitiosus*.

Fonte: Lee e Wood (1971).

As outras estruturas mais comuns são montículos de terra, aterros, galerias, câmaras e ninhos que são formados através do transporte de solo (ESCHENBRENNER, 1994; CAMMERAT et al., 2002; BOYER, 1971; BACHELIER, 1978; GRASSÉ, 1984; HAUSER, 1978; OHIAGU, 1979). Os ninhos podem servir de co-

habitação para outras espécies de térmitas ou de outros animais, além disso, o acúmulo de material orgânico em um ponto pode favorecer o desenvolvimento de espécies vegetais que encontram aí maior disponibilidade de nutrientes (NOIROT, 1970).

2.4 A MACROFAUNA INVERTEBRADA DO SOLO DOMINADA PELOS TÉRMITAS EM CONTEXTOS INTERTROPICAIS

Entende-se por macrofauna do solo, os organismos comumente superiores a 2 mm (LAVELLE; SPAIN, 2001). A influência desta macrofauna nas propriedades do solo foi reconhecida há muito tempo, os térmitas, com as formigas, são em densidade os principais representantes desta macrofauna (LEE; WOOD, 1971), particularmente em ambientes intertropicais. Os térmitas são atualmente reconhecidos como engenheiros do ecossistema². Certas espécies estão limitadas a algumas formações vegetais bem particulares, ao contrário de outras que têm uma distribuição mais ampla, ilustrando que a diversidade reflete o nível de adaptação. O gênero *Nasutitermes* (*Nasutiterminae*) é um dos mais importantes, representando até 14 % dos ninhos nas áreas amostradas na região do Cerrado, (MILL, 1982, DOMINGOS et al., 1986, CONSTANTINO, 2005). A maioria das espécies encontradas nessa região não constrói ninhos típicos, porém vivem em galerias independentes umas das outras, onde podem coexistir de 2 a 14 espécies.

No que se refere ao Bioma Cerrado, os trabalhos sobre macrofauna do solo são escassos. De maneira geral, se observam várias espécies, mas os térmitas representam a maior parte dos invertebrados edáficos (DIAS; BROSSARD; LOPES ASSAD, 1997; CONSTANTINO, 2005). O primeiro inventário para conhecer as populações no solo foi conduzido em diversos tipos de vegetação natural da região de Brasília (DIAS; BROSSARD; LOPES ASSAD, 1997), assim confirmou-se a importância dos térmitas, que representaram entre 35 e 88 % da macrofauna coletada entre 0-30 cm de profundidade, com uma densidade geral de macroinvertebrados variável, mas elevada. Outros grupos importantes são as formigas (*Formicidae*) e os besouros (*Coleoptera*). Este estudo, conduzido em duas épocas do ano, não encontrou biomassas relevantes de

² Segundo Jones, Lawton e Shachak (1994), Engenheiros do ecossistema são os organismos capazes de modificar o ambiente físico e disponibilidade de nutrientes para outros organismos. Lavelle (1997) definiu como engenheiros do solo organismos cumprindo estas funções no solo.

minhocas (Oligochaeta) geófagas. Estes resultados são confirmados pelos registros de Benito et al. (2004), que também encontrou uma maior densidade de Isoptera. Posteriormente, Marchão et al. (2009), Vendrame et al. (2009) e Silva et al. (2006) confirmaram a dominância dos térmitas sobre a macrofauna dos solos desse bioma, mesmo em situações agropastoris. Contudo, os térmitas são sensíveis à antropização (BANDEIRA, 1979, 1989; BENITO et al., 2004). Eggleton et al. (2002) admite que o desmatamento tenha efeito negativo na diversidade desses insetos. Nunes, Araujo Filho e Menezes (2009), num experimento de caatinga desmatada e manejada com queimada para cultivo, relataram que como o desmatamento, a queimada é fator crucial para diminuir a diversidade da fauna, chegando a extinguir grupos como Isoptera e larvas de dípteras.

2.5 OS RECURSOS TRÓFICOS E ESPACIAIS: PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO DE NINHOS E TÚNEIS

Os estudos de distribuição espacial e suas relações com fatores ambientais foram desenvolvidos em diferentes escalas na África, Austrália, Brasil e Estados Unidos (FERRAR, 1982; SANDS, 1965; BRANDÃO, 1991). Caracterizar os padrões de distribuição espacial das populações e verificar a existência de competição é um processo complicado, pois, se cada indivíduo ocupa seu próprio território, outro indivíduo se estabelecerá ali somente quando este fosse abandonado.

De modo geral, observa-se relação dos térmitas principalmente com as características texturais do solo e com aspectos da vegetação, mas isto não é uma regra, é preciso testar as espécies a estas tendências. Contudo, observa-se que falta conhecimento mais amplo. Outros fatores importantes para uma maior ocupação de térmitas de ninhos epígeos seria o fato das áreas apresentarem baixo risco de predação e baixa incidência de chuvas (ARAÚJO, 2005). Comportamento semelhante foi observado para os térmitas arbóreos (GONÇALVES et al., 2005).

Para as construções dos ninhos são utilizados materiais diversos: solo da superfície e/ou da subsuperfície, o próprio excremento, matéria orgânica digerida e saliva (BIGNELL, 2006). Com sua mandíbula, os térmitas tiram partículas de solo, principalmente argila, e recortam segmentos de folhas ou outros materiais vegetais, frescos ou em diferentes estados de decomposição. Os ninhos têm um sistema de regulação

ambiental que controla a atmosfera interna, este enclausuramento se deve à necessidade de proteção contra os movimentos de ar e de manutenção das condições de umidade e temperatura, imprescindível para a sobrevivência da colônia, e que também pode auxiliar na competição com outros insetos (NOIROT, 1970).

Lee, Su e Lee (2009) mostraram que os térmitas podem restringir o número de túneis que eles constroem para aumentar a eficiência de transporte de comida. Em condições de laboratório, eles tendem a construir túneis menores e em menor quantidade, enquanto que, no campo, constroem galerias transversais, horizontais e verticais que atingem 55 m de profundidade (LEPAGE; MOREL; RESPLENDINO, 1974), em busca de água e material argiloso úmido em profundidade (LEPRUN, 1976). Em condições de laboratório, Arab e Costa-Leonardo (2005) mostram estreita relação entre umidade e temperatura como fator de influência na área escavada por *Coptotermes gestroi* e *Heterotermes tenuis* (Rhinotermitidae); para estes autores a presença de comida não influencia o padrão de escavação de *C. gestroi*; mas, para *H. tenuis* houve diminuição significativa no número de túneis construídos. Isto sugere que, para algumas espécies, a escavação de túneis e galerias está associada à busca por alimento. Reinhard, Hertel e Kaib (1997) explicam que os térmitas exploram sistematicamente o ambiente buscando alimento em todas as direções. Nobre, Nunes e Bignell (2007) estudando a geometria dos túneis de *Reticulitermes grassei* (Rhinotermitidae) em laboratório, não observaram tendência direcional para construção dos túneis; mesmo quando o recurso trófico ficava próximo deles, os operários faziam túneis em direções aleatórias. Outros autores confirmam essas observações em laboratório, advertindo para a atual linha de trabalho no sentido de desvendar o comportamento de forrageamento, como pode ser visto na Tabela 2.1.

Por suas construções complexas, os térmitas são considerados como verdadeiros arquitetos do ecossistema e suas construções apresentam estreita relação com o artifício de busca por alimento. Todavia, o processo de busca por recursos tróficos ocorre de forma peculiar. Esses insetos, dentro da eusocialidade, têm a capacidade se auto-organizar coletivamente de forma estruturada. Nos trabalhos a campo, são feitas associações entre a existência do inseto e o tipo de alimento mais próximo. Na Tabela 2.1 são apresentados uma relação dos autores que estudaram os processos de construções e o comportamento dos térmitas. Arab e Costa-Leonardo (2005) desenvolveram uma metodologia que permite a visualização geral da procura em duas dimensões, mas que não

se revela eficaz na compreensão dos hábitos de comportamento na procura de direções para formações de túneis para forrageamento.

De fato, é sabido que a regulação das atividades de construção pelos térmitas e as formigas dentro do solo expõe os processos sinérgicos complexos que são, em parte, ligados aos parâmetros físicos ambientais (GRASSÉ, 1959; BONABEAU, 1998; CAMAZINE et al., 2001; FOURCASSIÉ; OLIVEIRA, 2002; THERAULAZ et al., 2003; FOURCASSIÉ et al., 2003). Um dos conceitos importantes utilizado para compreender a coordenação das atividades subterrâneas dos insetos sociais é o de stigmergia, da palavra francesa “stigmergie”. Esse conceito foi introduzido por Grassé (1959) para explicar a coordenação das tarefas e a regulação das atividades subterrâneas de térmitas, lançando então a hipótese de que esse inseto não dirigia o seu trabalho, mas que pelo contrário, era guiado pelo resultado da sua própria atividade (pistas químicas, feromônio). A introdução do conceito de stigmergia permite a compreensão dos mecanismos de coordenação das atividades subterrâneas. Não obstante, ainda há várias perguntas que permanecem sem respostas. Em especial; que tipo de dinâmica pode ser gerada por estas interações indiretas e como funciona o controle de cooperação das diversas atividades dos insetos durante a construção, particularmente em relação ao recuso espacial, o solo.

Tabela 2.1 – Relação das referencias que abordam os processos de construções e comportamento dos térmitas

Autor:	Processos de construções (caracterização/descrição de estruturas) e comportamento de térmitas					
	Ninhos	Túneis C	Túneis L	Homogeneização	Pedoturbação	Feições isoladas
Ackerman et al., (2007)	X c qf					
Awadzi et al., (2004)				X	X	
Bachelier, 1978	X			X	X	X
Black e Okwakol, 1997	X	X		X	X	
Bonabeau, 1998	X	X				
Boyer, 1973	X c qf			X	X	
Brossard et al., 2007	X				X	
Benzie, 1986	X					
Bagine, 1984		X d			X	
Campora e Grace, 2004			X c b			
Campora e Grace, 2001			X c b			
Cooper; Vidal-Torrado e Chaplot, 2005						X
Ekundayo e Aghatise, 1997	X					
Eschenbrenner, 1986	X	X			X	X
Garnier-Sillam e Harry, 1995	X c qf					
Hedlund e Henderson, 1999			X c b			
Jungerius, Van Den Ancker e Mücher., 1999	X					
Kaschuk et al. 2006	X c qf					
Lee e Wood, 1971	X	X				
Lee; Su e Lee (2009)			X c b			
Lepage; Morel; Resplendino,	X	X				

1974						
Leprun, 1976	X	X				
López-Hernández et al., 2006	X				X	
Nobre, Nunes, Bignell, 2007		X	X cb			
Nye, 1955				X	X	
Ouedraogo, 1997	X C, d,				X	
Perna et al., 2008	X	X				
Pitts-Singer e Forschler, 2000			X cb			
Puche e Su, 2001			X cb			
Reatto et al., 2009						X
Reinhard, Hertel e Kaib (1997)			X cb			
Rückamp, et al., 2010	X cqf					
Sarcinelli et al., 2009	X C cqf			X C cqf	X C cqf	
Schefer, 2001						X
Stoops, 1964	X			X	X	
Su, e Lee 2009			X cb			
Su e Puche, 2003			X cb			
Sys, 1955					X	
Tucker, Koehler e Oi, 2004			X cb			
Vidal-Torrado e Lepsch, 1999						X
Vidal-Torrado et al., 2006						X
Wood, 1988	X					
Wood, 1996						

C = Campo, L = Laboratório, cqf = caracterização química e física, cb = caracterização biológica e comportamento, d = descrição

2.6 ATIVIDADES DE TÉRMITAS E MICROESTRUTURA DO SOLO

A produção de estruturas microagregadas por térmitas é realizada por dois mecanismos (LEE; WOOD, 1971; BACHELIER, 1978; LAVELLE; SPAIN, 2001). O primeiro, realizado com a mandíbula, consiste da escavação do solo e transporte de partículas ou grupos de partículas (microagregados), de natureza mineral, orgânica ou organo-mineral, até a superfície do solo ou áreas de aterro (deposição de materiais), podendo utilizar estes agregados na construção de ninhos, paredes de túneis e cavidades diversas. Esse transporte pode ser realizado no sentido vertical e horizontal, e é possível ocorrer em distâncias de um metro até dezenas de metros, particularmente no sentido horizontal (LEPAGE; MOREL; RESPLENDINO, 1974; BOYER, 1969). A maioria dos térmitas não transporta partículas maiores que 3 mm (LEE; WOOD, 1971), para facilitar o transporte e a manipulação do agregado; contudo, Bachelier (1978) relatou que os Macrotermitinea transportam partículas superiores a 5 mm. O segundo mecanismo é a passagem de material de superfície do solo pelo trato intestinal dos térmitas, transformando-se em excreções em forma de pequenas pelotas de excremento facilmente reconhecidas em lâminas delgadas ou blocos de solo, (Figura 2.5, Figura 2.6d). Existem grandes variações nas modalidades dessas atividades de escavação e de transporte em função dos regimes tróficos das espécies consideradas (BLACK; OKWAKOL, 1997).



Figura 2.5 – Aspecto em detalhe da superfície de uma placa de excrementos de *Ruptitermes sp.* (escala 0,25 mm).

As primeiras observações de termiteiros descreviam suas feições: parte interna mais frágil (câmara celulósica), parte externa mais rígida e, ao seu redor, canais abertos que dão acesso à superfície do solo; há também relatos de galerias e cavidades subterrâneas abaixo dos 6 m de profundidade (LEPRUN, 1976; BOYER, 1958) (Tabela 2.1, Tabela 2.2). A atividade dos térmitas mescla materiais no momento das construções. Entre as feições foram identificados os chamados remontes biológicos, feitos com solo de subsuperfície (SILVESTRI, 1945; HARRIS, 1954; HESSE, 1955; BOYER, 1958; BIGNELL, 2006).

Os grandes ninhos ou cupinzeiros são geralmente constituídos, em parte, de material proveniente dos horizontes profundos do solo (MIEDEMA; VAN VUURE, 1977, JUNGERIUS; VAN DEN ANCKER; MÜCHER, 1999) e, os pequenos, mais ou menos hipogéicos, são construídos utilizando, em sua maioria, material dos horizontes superficiais (LÓPEZ-HERNÁNDEZ et al., 2006; BROSSARD et al., 2007). Já foram feitos diversos trabalhos que quantificam o volume/ou massa de solo revolvida durante as escavações realizadas pelos térmitas, que passam de 1.000 kg.ha⁻¹ ano⁻¹. Esses dados relacionam o volume de solo revolvido não somente com a espécie estudada, mas ao tipo de solo, ao recurso trófico e ao clima.

Tabela 2.2 - Tipologia da atividade dos térmitas e tipo de feições estruturais produzidas com suas características de macro e microporosidade, e impactos em diversas propriedades do solo relatados por diferentes autores

Tipos de Atividade	Tipo de feições observadas e porosidade do solo		Propriedades físicas impactadas	Autor
	Macroporosidade	Microporosidade		
Construções:				
Ninhos	Volumes densos	Microagregados coalescentes	Densidade do solo	Boyer, 1969; Cooper; Vidal-Torrado; Chaplot, 2005; Eschenbrenner, 1994; Jeaneau ; Valentin, 1987; Léonard, Perrier e Rajot, 2004; Miklós, 1998; Roose, 1976
Escavação:				
Transporte e homogeneização, Aterros	Grânulos e aterros, em todas as camadas, MO, resíduos densos de construções (remonte biológico), Porosidade de empilhamento	Empacotamento de microagregados, volumes densos centimétricos, subangulares	Densidade do solo	Cooper; Vidal-Torrado e Chaplot 2005; Jungerius, Van Den Ancker e Múcher, 1999; Miedema e Van Vuure, 1977
Cimentação:				
Parede de galerias e cavidades	Volumes densos de paredes e preenchimento de galerias	Empacotamento de microagregados	Papel das galerias na infiltração	Beutler et al., 2001; Bacchelier, 1978; Grassé e Noirot, 1959; Vidal-Torrado et al., 1999
Pedoturbação:				
a) Formação de agregados (solo ou pelotas fecais)	Angulares, subangulares, agregados livres, de contornos bem definidos, porosidade de empilhamento	Contorno definido, as vezes coalescentes, agregados livres, justapostos	Resistência a penetração	Jeaneau ; Valentin, 1987; Léonard, Perrier e Rajot, 2004; Mando, 1997; Reatto et al., 2009; Schaefer, 2001
b) Formação de porosidade na superfície do solo	Macroporos de superfície		Escoamento superficial, infiltração	Léonard, Perrier e Rajot, 2004; Jeaneau ; Valentin, 1987

Aproximadamente 23% dos solos das zonas intertropicais possuem horizontes compostos por microagregados, de 50 a 300-500 μm de diâmetro, que respondem por grande parte de suas propriedades físicas (BREWER, 1964; CHAUVEL, 1976; CAMARGO; KLAMT; KAUFFMAN, 1987; JUNGERIUS; VAN DEN ANCKER; MÜCHER, 1999; BALBINO et al., 2002; VOLLAND-TUDURI, 2005; REATTO et al., 2009). Os microagregados estão presentes em muitos solos desenvolvidos sobre rochas ácidas ou básicas existentes na África (TRAPNELL; WEBSTER, 1986) e no Brasil (CAMARGO; KIMBLE; BEINROTH, 1988; EMBRAPA, 2006). Esses microagregados, quase esféricos, denominados “pseudosand”, “micropeds” e “granules”, respectivamente por Kubiena (1950), Brewer (1964), Trapnell e Webster (1986), conferem aos horizontes porosidade elevada, fraca resistência à penetração, reserva de água variável conforme a textura e espessura considerada, e, facilitam a circulação de água e de ar no solo (BEUTLER et al., 2001).

Nenhuma relação direta do clima com as estruturas microagregadas foi comprovada, porém, foi verificado indícios dessa relação em biomas africanos por Muller (1977), em regiões subtropicais do Brasil por Barros (1996) e nas savanas da Colômbia por Gaviria (1993). Essas estruturas são, em parte, explicadas pelo processo físico de fragmentação e geoquímico da fase mineral, enquanto que, a fauna invertebrada do solo, produz microagregados, cujas características são reconhecidas, após anos, como parte do processo de composição de microagregados dos ambientes intertropicais (STOOPS, 1964; VERHEYE; STOOPS, 1975; MERMUT; ARNAUD, 1984; ESCHENBRENNER, 1986; TRAPNELL; WEBSTER, 1986). A manifestação mais visível dessa atividade biológica é a formação de estruturas, de natureza, tamanho e constituição variadas (Figura 2.6).

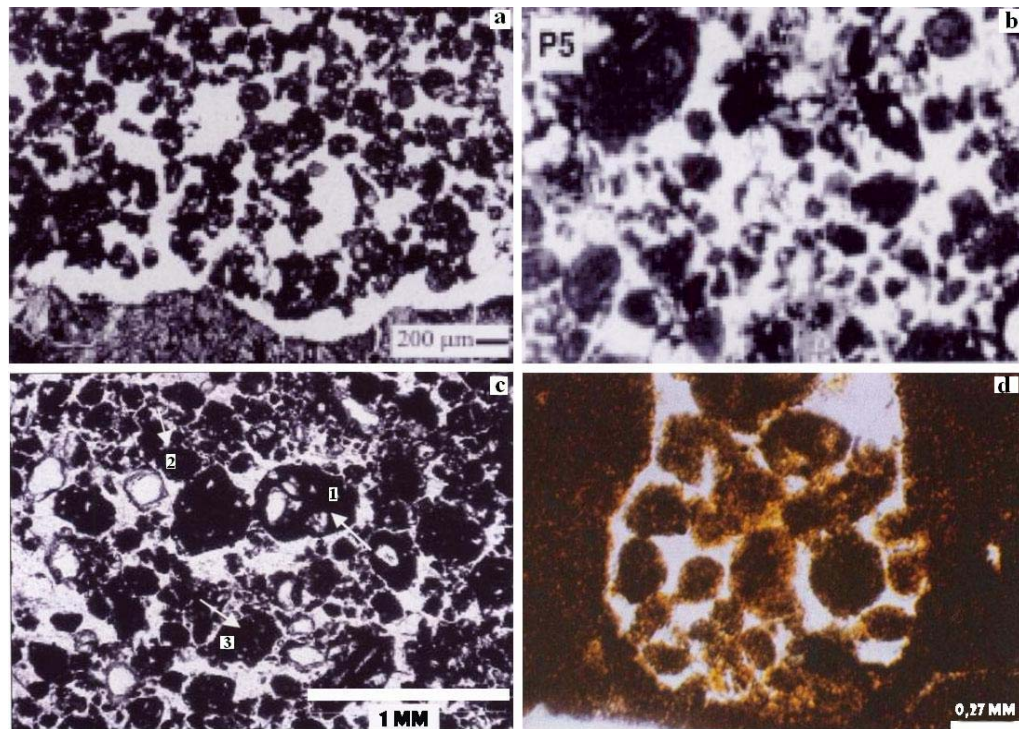


Figura 2.6 – Fotomicrografias de estruturas fabricadas ou modificadas pela macrofauna do solo: **a)** Horizonte Bi, detalhe de microagregação do plasma de origem biológica, (VIDAL-TORRADO et al., 2006). **b)** Estrutura microgranular de um horizonte B latossólico. (SCHAEFER, 2001). **c)** Horizonte B latossólico (ferralítico), indicando a presença de microagregados: 1- ovais com grãos de quartzo bem selecionados no seu interior, 2- ovais com grãos de quartzo mal selecionados no seu interior, 3- Microagregados poliédricos densos (COOPER; VIDAL-TORRADO; CHAPLOT, 2005). **d)** Poro preenchido com microagregados granulares, excremento de térmitas (CORREA, 1989).

Em suas construções, ninhos e escavações, os térmitas transportam grandes volumes de solo e MO. Estes materiais em sua maioria (argila e matéria orgânica) são transportados seletivamente. Outro aspecto importante é a semelhança entre as estruturas microagregadas existentes no solo e as criadas pelos térmitas (LEPRUN, 1976; MERMUT; ARNAUD, 1984; ESCHENBRENNER, 1986; TRAPNELL; WEBSTER, 1986). Stoops (1964) enfatizou a semelhança morfológica entre microagregados do solo e as estruturas encontradas nas paredes dos termiteiros, câmaras e outras construções. Mermut e Arnaud (1984), do mesmo modo, destacaram semelhanças entre os microagregados que constituem a estrutura do solo e os microagregados de certas estruturas biogênicas de térmitas. Contudo, foi Eschenbrenner (1986) quem descreveu as microestruturas de solos associando suas semelhanças com microestruturas fabricadas por térmitas em solos ferralíticos da Costa do Marfim. Essas semelhanças estavam associadas, ao tamanho, forma e às microestruturas

elementares e secundárias. Segundo esse autor, os solos que apresentam essa microorganização, denominada “agglutinique” (amontoamento), são, frequentemente, o resultado da intensa atividade de térmitas, caracterizada pela existência de numerosos pedotúbulos.

Ainda, Fernandes Correa (1989), Miklós (1992, 1998), Barros (1996) e Cooper; Vidal-Torrado e Chaplot (2005) atribuíram à atividade dos térmitas estruturas microagregadas e feições biológicas encontradas nos solos tropicais e subtropicais do Brasil. Além disso, os térmitas retribuem estruturas adensadas deixadas por outros macroorganismos do solo, como coprólitos de minhocas (BARROS et al., 2004). Cooper; Vidal-Torrado e Chaplot (2005), descrevendo microcromorfológicamente estruturas, (Figura 2.6c), apresentam pelotas fecais e microagregados advindos da atividade de térmitas.

Vidal-Torrado et al. (1999) descrevendo o horizonte BA de latossolos, relataram a presença de agregados poliédricos centimétricos, (Figura 2.6a). Esse tipo de agregado, segundo os autores, seria favorecido pela maior atividade biológica, que pode se observar tanto no horizonte B como no horizonte BA, sendo comum a presença de crotovinas (preenchidas por material solto granular) e pedotúbulos. A presença da perturbação do solo pelos térmitas pode ser verificada analisando-se a semelhança das estruturas ao longo do perfil e estruturas dos ninhos e galerias (DEMATTEÍ; MAFRA; BERNARDES, 1998).

Historicamente, existem vários estudos que tratam do estado estrutural dos latossolos e da origem das estruturas microagregadas, no entanto, até recentemente, a maioria eram apenas hipóteses. Beudou (1972) propôs que a “ferralitização” intervém na fase mineral e conseqüentemente, na microagregação. Chauvel (1976) estudou a origem e a evolução da microagregação sob clima de estações contrastadas propondo uma ação geoquímica. Volland-Tuduri et al. (2005), estudaram o estado estrutural de um Latossolo, encontrando uma macroestrutura pouco desenvolvida, (Figura 2.7). Reatto et al. (2009) aprimoraram os estudos sobre o comportamento dos microagregados de Latossolos e demonstraram que não são rígidos e diminuem de volume durante a dessecação. O volume poroso desses microagregados é relacionado à quantidade de argila, sendo que a composição mineralógica da fração < 2 µm é secundária nas variações do volume poroso. Os principais minerais dos Latossolos, na fração inferior a 2 µm, são caulinita, gibbsita, hematita e goetita (CURI; FRANZMEIER, 1984; MACEDO; BRYANT, 1987; KER, 1998; FERREIRA; FERNANDES; CURI, 1999; SCHAEFER; FABRIS; KER, 2008; REATTO et al., 2009). Muller (1977), sob clima sub-equatorial, propôs que esta microagregação seria resultado de processos de expansão-contração das partículas de argila, seguido da fragmentação física da

matriz argilosa, ou seja, estaria relacionado à genética, porém este mesmo autor cita, além desse processo, a ferralitização e uma possível pedoturbação de origem biológica. Jungerius, Van Den Ancker e Múcher (1999) atribuem a origem dos microagregados em horizontes profundos aos térmitas. Outros autores indicam uma possível manifestação dos térmitas que resultaria em estruturas microagregadas (YOUNG et al., 1998; CAMMERAT et al., 2002).

Uma parte dos microagregados são, na realidade, excrementos enriquecidos de matéria orgânica, que os tornam estáveis (GARNIER-SILLAM; TOUTAIN; RENOUX, 1988). Se por um lado a matéria orgânica é importante para essa estabilização, os térmitas provisionam essa MO ao longo do perfil, pela distribuição da liteira decomposta ou o próprio excremento, ao revolver o solo durante o processo de construção dos ninhos (BACHELIER, 1978).

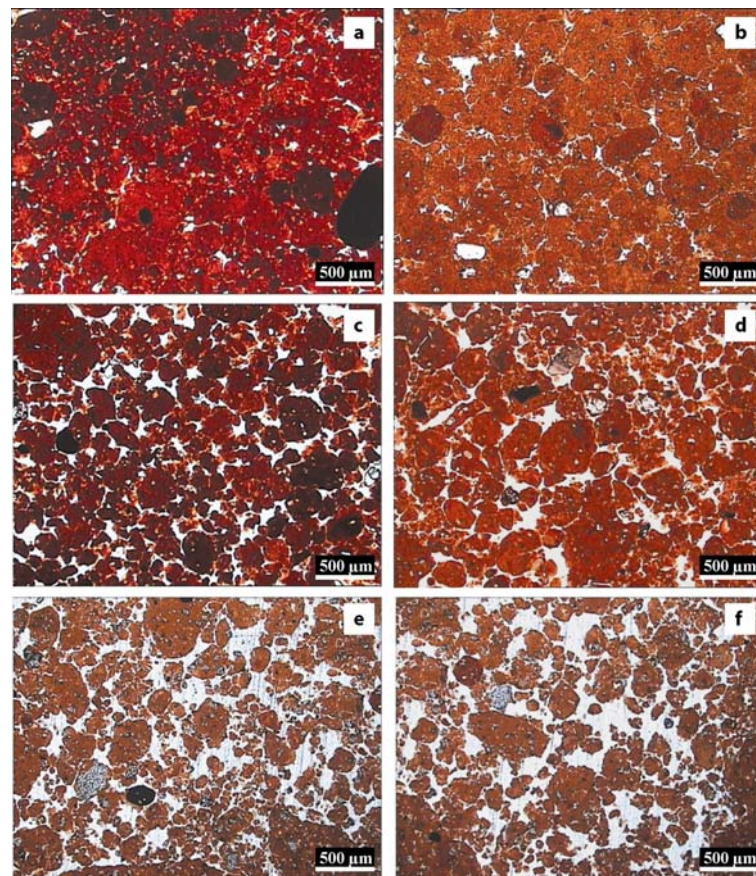


Figura 2.7 – Diferentes tipos de microagregados de latossolos observados em lâmina delgada ao microscópio ótico: a) e b) Conjunto de microagregados muito unidos; c) e d) Conjunto de microagregados solto, ligeiramente unidos uns aos outros; e) e f) Conjunto de microagregados muito solto.

Fonte: Volland-Tuduri et al., 2005.

Diversos trabalhos foram realizados numa ampla abordagem sobre a estrutura microagregada do solo em relação a atividade biológica, inclusive no Brasil.

Vidal-Torrado e Lepsch (1999) estudaram cinco pedons assentados em rochas psamíticas da formação Itararé (Carbonífero-Permiano), sudeste do Brasil. E, evidenciaram que grande parte do material de origem dos pedons latossólicos argilosos provém do retrabalhamento de um sedimento neocenozóico argiloso, previamente intemperizado, com remanescentes semelhantes, sugerindo que as características latossólicas dos solos da meia encosta e do sopé foram herdadas de idêntico material. Constataram também, uma intensa atividade da mesofauna.

Cooper, Vidal-Torrado e Chaplot (2005) descreveram microagregados na região sudeste, onde estudaram a morfologia e demonstraram as diferentes origens dos microagregados de um horizonte B latossólico de acordo com a morfologia de cada tipo de microagregado, atribuindo certos tipos de microagregados ovais com grãos de quartzo bem selecionados no interior como sendo originalmente da atividade da macrofauna.

Vidal-Torrado et al., (2006) em solos serpentínitos, rasos, com pedregosidade e rochosidade na superfície, constataram intensa atividade da fauna do solo. Segundo Schaefer (2001) o estado microestruturado dos latossolos, que está sempre relacionado à gibbsita e óxido de ferro, onde se observa grande variabilidade do material de origem, é resultado da ação biológica a longo prazo, e os térmitas estão entre os principais organismos envolvidos nesta gênese; e a persistência do estado microestruturado do solo seria devido à alta estabilidade dos microagregados de excrementos de térmitas. Recentemente, foram realizados vários trabalhos que descrevem a origem dos microagregados, especialmente em latossolos, e conforme Reatto et al. (2009), de fato, os diversos tipos de microestruturas granulares dos latossolos devem ser atribuídos à atividade dos térmitas (Figura 2.8). Assim, embora os estudos tenham sido realizados em diferentes solos, no que diz respeito à morfologia, à classificação dos agregados e a sua origem, os resultados levam a conclusões semelhantes.

Os térmitas influenciam nas propriedades químicas e físicas do solo, quando comparado o solo dos ninhos ao solo adjacente (LEE; WOOD, 1971; KONATÉ et al., 1999), sendo essas alterações mais visíveis em profundidade, onde o solo se apresenta menos poroso que as estruturas dos ninhos. Por outro lado, as estruturas porosas que permanecem no solo depois da morte da colônia favorecem a aeração, podendo melhorar a distribuição do sistema radicular. Outra consequência positiva é que os térmitas podem diminuir a resistência à penetração do solo, ou retrabalhar camadas compactadas (MANDO, 1997). A movimentação

dos térmitas no perfil do solo favorece a infiltração de água no solo, seja através de galerias ou estruturas acomodadas ao longo do perfil. É possível associar a presença dos térmitas ao aumento da infiltração, por medidas no campo (ROOSE, 1981; LÉONARD; RAJOT, 2001) ou através de modelos de simulação, (LÉONARD; PERRIER; RAJOT, 2004), embora os resultados sejam variáveis (JANEAU; VALENTIN, 1987). Segundo Lal (1987), os térmitas são capazes de recolonizar solos degradados, restaurar sua produtividade, diminuir a densidade e aumentar a taxa de infiltração de água de solos compactados. Os térmitas, junto com outros insetos da macrofauna, são considerados os principais grupos que fragmentam e consomem o material vegetal, sendo apontados como indicadores de qualidade do solo e, também, auxiliam na “descompactação” através da construção de poros e agregados soltos, (HOPKIN; READ, 1992; BARROS et al., 2004; BARETTA, 2008).

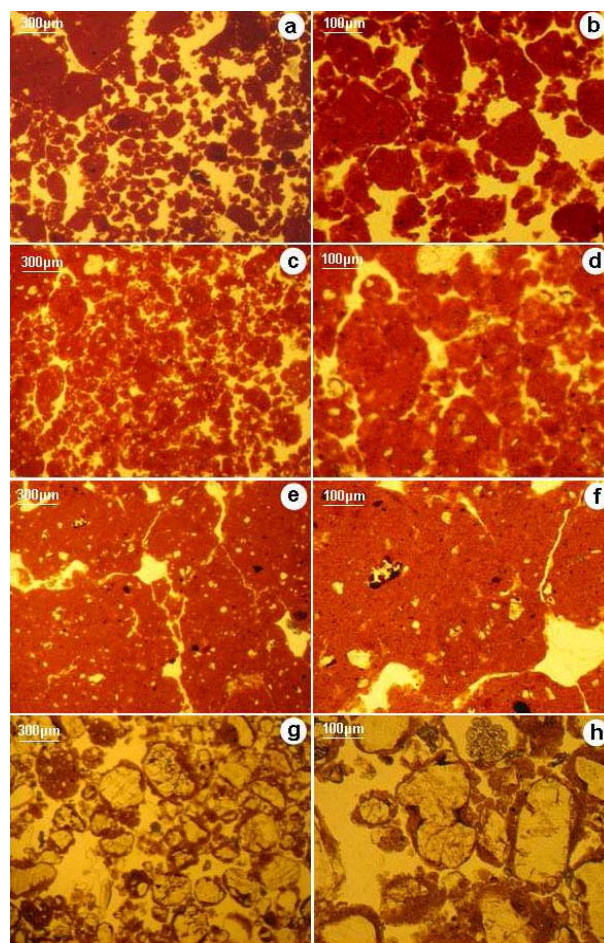


Figura 2.8 – Fotomicrografia de estruturas de um horizonte Bw:
a) e b) microgranular forte estruturada; c) moderada
a microgranular fraca estruturada; d)
microgranular combinando estruturada e pelicular,
Fonte: Reatto et al. (2009).

2.7 PEDOTURBAÇÃO PELA ATIVIDADE DE TÉRMITA

Os térmitas são os primeiros insetos sociais a aparecerem nos registros geológicos (VILELA et al., 2008), e eles existem desde o Paleoceno-Eoceno (GRASSÉ, 1986). O fóssil mais antigo data do cretáceo (TESSIER, 1959). A Tabela 2.3 lista alguns artigos desenvolvidos em diferentes locais e para diversas espécies que tratam da atividade dos térmitas e os valores de solo revolvido pelos mesmos. Os valores de estocagem de material do solo nos termiteiros epígeos variam de 100 a 1780 kg.ha⁻¹ ano. As datações de ¹⁴C dos carvões e da matéria orgânica nos perfis de latossolo durante o Holoceno, mesmo contando os possíveis processos de movimentação de partículas em uma topossequência, (BACHELIER, 1978; BOYER, 1956; GOUVEIA; PESSENDA, 2000; AWADZI et al., 2004) confirmam o papel da movimentação do solo pela fauna. Boulet et al. (1995) estimaram de 2,1 a 2,6 m³.ano⁻¹ de solo proveniente de remonte biológico.

Os valores de pedoturbação anual variam em função das espécies e do ambiente. Em Burkina Faso, Roose (1981) estudou os termiteiros de *Trinervitermes geminatus* (Termitidae, Nasutitermitinae) que se desenvolvem sobre couraças e solos concrecionários e luvisolos férricos sobre granitos, e encontrou uma densidade média de 1.300 ninhos.ha⁻¹ (de 1.000 a 2.000 ninhos ha⁻¹), representando uma massa média de revolvimento de solo de 8.100 kg.ha⁻¹ (de 6.000 a 9.000 kg.ha⁻¹). A densidade de ninhos medida por Roose foi a mais elevada para essa espécie, provavelmente pela alta pluviosidade da região, 850 mm de pluviometria média anual. Benzie (1986) trabalhando nas savanas da África Ocidental (Gana e Guiné) registrou para as espécies *T. geminatus*, *T. oeconomus*, *C. curtatus*, de 21 a 72 ninhos.ha⁻¹. E, Josens (1983), em uma revisão sobre trabalhos executados na África do Oeste, encontrou somente 6,2 ninhos ha⁻¹.

No Cerrado, Oliveira et al., (2011), encontraram uma densidade de cupinzeiros de *Cornitermes* sp1, *Labiotermes* sp1, *Procornitermes* sp1, *Spinitermes* sp1, *Nasutitermes* sp1 variando de 195 a 672 ninhos.ha⁻¹, o que representou uma massa de solo mobilizada de 3400 a 13400 kg.ha⁻¹ em 3 anos. Na Amazônia, Eschenbrenner, Soares e Melfi (2000), encontraram uma densidade de 602 ninhos.ha⁻¹ de termiteiros da sub-família Nasutitermitinae (dominante), o que corresponde a um revolvimento de solo de 1780 kg.ha⁻¹ ano.

Tabela 2.3 - Relação de alguns trabalhos que quantificaram o volume de solo revolvido pela atividade dos térmitas.

Autor	Local	Solo revolvido	Espécie
Lee e Wood, (1971)	Austrália	4 m ³ ha ⁻¹ ano	<i>Armitermes</i> sp. <i>Nasutitermes exitiosus</i>
Boulet et al. (1995)	Sudeste Brasil	2,1 a 2,6 m ³ /ano	??
Kaschuk et al. (2006)	Sul do Brasil	20,9 a 136,6 de m ³ ha ⁻¹	<i>Grigiotermes Bequaerti</i> , <i>C. cumulans</i> , <i>C. fulviceps</i> , <i>Neocapritermes opacus</i> , <i>C. fuviceps</i> ,
Bagine, (1984)	Norte do Quênia	1059 kg ha ⁻¹ ano	<i>Odontotermes latericius</i> (Haviland) e <i>O. boranicus Ghidini</i>
Boyer, (1969)	África	5200 kg ha ⁻¹ ano	<i>Bellicositermes rex</i>
Lepage; Morel; Resplendino (1974)	Senegal	950 kg ha ⁻¹	<i>Macrotermes subhyalinus</i>
Pomeroy, (1976) em Bachelier, (1978)	Uganda	1 m ³ ha ⁻¹ ano	
Roose, (1980)	Região tropical	1200 kg ha ⁻¹ ano	<i>Trinervitermes</i>
Miklós, (1992)	Sudeste do Brasil	4400 kg ha ⁻¹ ano	Várias espécies
Eschenbrenner, Soares e Melfi, (2000)	Amazônia brasileira	1780 kg ha ⁻¹ ano	<i>Nasutitermitinae</i>
Abe, (2002)	-	200 a 4000 kg ha ⁻¹ ano	Varias espécies
Oliveira et al., (2011)	Brasil central	3400 a 13400 kg ha ⁻¹ em 3 anos	<i>Cornitermes</i> sp1, <i>Labiotermes</i> sp1, <i>Procornitermes</i> sp1, <i>Spinitermes</i> sp1, <i>Nasutitermes</i> sp1
Badawi et al., (1982) em Abe, (2002)	-	100 kg ha ⁻¹ ano	-
Kooym e Onck, (1987)	-	100 kg ha ⁻¹ ano	-
Mackay e Whitford, (1988)	-	2600 kg ha ⁻¹ ano	-
Sarcinelli et al., (2009)	Sudeste Brasil	7500 kg ha ⁻¹ ano	Vários gêneros

Uma discussão construtiva sobre as quantidades de solo revolvido, comparadas aos diferentes horizontes do solo, necessitaria de um bom conhecimento da taxa de renovação da termitária. Mas a demografia e as dinâmicas das colônias de térmitas foram poucas vezes medidas com precisão e os dados são raros (LEPAGE; DARLINGTON, 2000). No caso das colônias de *Trinervitermes*, as medidas chegaram a uma longevidade de sete anos, sendo que a massa de solo removido atinge o valor médio de 1.200 kg ano⁻¹ (ROOSE, 1981; BROSSARD et al., 2007).

Por fim, podemos considerar que os térmitas, juntamente com as minhocas e as formigas, promovem a homogeneização vertical do perfil do solo, resultando numa menor diferenciação mineralógica (BREEMEN; BUURMAN, 1998) e morfológica do solo da profundidade para a superfície (REATTO et al., 2008).

2.8 CONCLUSÕES

1 Este artigo salientou o papel que podem desenvolver os térmitas, insetos particularmente ativos em solos de regiões intertropicais. Os trabalhos realizados *in situ* mostram uma convergência de resultados sobre a natureza de feições construídas pela sua atividade e seus aspectos comportamentais.

2 Os térmitas influenciam na morfologia do solo fabricando agregados estáveis e microagregados, bem como contribuem no trabalho de remonte biológico de material, avaliado de 100 até 1780 kg ha⁻¹ ano, exercendo forte papel nas propriedades do solo.

3 O interesse no estudo de aspectos relacionados ao funcionamento biológico do solo sob sistemas naturais e agrícolas tem aumentado. No entanto, embora sejam sensíveis à antropização e se estabeleçam com facilidade em novos ambientes, não há estudos recentes sobre o impacto da atividade dos térmitas sobre as feições produzidas e sobre as propriedades físicas do solo.

4 Há grande interesse no estudo do comportamento desses insetos, em especial para tentar desvendar seus hábitos construtores. Se a diversidade das construções, particularmente de ninhos epígeos pelas diferentes espécies, é facilmente visualizada e descrita, estudos que permitam atribuir atividades, cavidades, galerias e aterros, a um tipo de feição, assim como o efeito deles no solo, são ainda escassos.



Foto: Placa de *Ruptitermes* sp. em área de pastagem cultivada, *Brachiaria brizantha* de 3 - 4 anos de idade.

**ESTRUTURA FUNCIONAL PRODUZIDA POR *Ruptitermes* sp (Isoptera: Termitidae)
NA SUPERFÍCIE DO SOLO EM SAVANNA NEOTROPICAL**

Os térmitas da subfamília Apicotermitinae estão presentes em várias regiões no Brasil. No entanto, são poucos os estudos sobre esta subfamília e não existem relatos da interação entre esses e as características ou classes de solo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar uma estrutura superficial do solo construída pelos *Ruptitermes* sp. (Isoptera: Termitidea) a partir de informações coletadas em um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado (Brasil).

3 ARTIGO A: ESTRUTURA FUNCIONAL PRODUZIDA POR *RUPTITERMES SP* (ISOPTERA: TERMITIDEA) NA SUPERFÍCIE DO SOLO EM SAVANA NEOTROPICAL

3.1 RESUMO E ABSTRACT

O objetivo deste trabalho foi avaliar uma estrutura superficial do solo construída pelos *Ruptitermes sp.* (Isoptera: Termitidea) coletada em um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado (Brasil). Foram fotografados quadrantes da superfície do solo para contagem e distribuição das feições. Coletaram-se, aleatoriamente, amostras de placas e de solo adjacente para análises físicas e químicas; amostras para a determinação da densidade do solo, bem como a relação entre a massa de material das placas e a superfície ocupada pelas mesmas. Também foram coletadas amostras indeformadas para análises micromorfológicas. As observações permitem afirmar que cada placa é associada a um ninho subterrâneo ligado à superfície do solo por vários orifícios localizados sob a placa, e que elas cobrem em média 54,62 % da superfície. As observações revelam que as placas são essencialmente constituídas de dejeções de térmitas: várias formas de excrementos de térmitas justapostos, alongados, elipsóides e arredondados, lisos, formando uma massa densa coalescente. Observa-se também a presença de grãos de quartzo ao redor e no interior dos excrementos. *Ruptitermes sp.* explora a superfície removendo e modificando, pela ingestão das partículas de solo, aproximadamente, uma tonelada anualmente, o que representa 2 % da massa de solo da camada 0-0,1m. Os resultados evidenciam ainda uma maior concentração de nutrientes na placa, quando comparado ao solo adjacente. As microestruturas observadas mostram o papel desta espécie na micro-organização do solo (soil fabric).

Palavras-chaves: Latossolo. Micromorfologia. Microagregação. Bioagregação. Excremento de térmita.

A SOIL SURFACE FUNCTIONAL STRUCTURE PRODUCED BY *RUPTITERMES SP.* (ISOPTERA: TERMITIDEA) IN A NEOTROPICAL SAVANNAH

Abstract

The aim of this study was to evaluate the structure of a soil surface produced by *Ruptitermes sp.* (Isoptera: Termitidea) collected from a Ferralsol soil in the Brazilian Neotropical savanna (Cerrado). Quadrants of the soil surface were photographed to evaluate the number and distribution of features. Samples of sheathings and adjacent soil were randomly collected for physical and chemical analysis and to determine soil density the the relation between sheathing material mass and the surface occupied by the sheathings. Intact samples were also collected for micromorphological analysis. Observations confirmed that each sheathing is

associated with an underground nest, linked to the soil surface by various orifices located under the sheathing, and these covered on average 54.62 % of the surface. Observations also revealed that the sheathings were essentially formed by termite waste, consisting of variously shaped, juxtaposed termite excrement (elongated, ellipsoid, rounded, and smooth), forming a dense, coalescent mass. We also observed particles of quartz around and inside the excrement. *Ruptitermes sp.* explores the surface, removing and modifying it by ingesting soil particles, amounting to approximately one metric ton annually, representing 2 % of the soil mass in the 0-0.1m layer. The results also showed a greater concentration of nutrients in the sheathing as compared to the adjacent soil. The microstructures observed showed the role of this species in the soil fabric.

Keywords: Ferralsol. Soil fabric. Micro-aggregation. Bio-aggregation. Soil feeding termite. Termite pellet.

3.2 INTRODUÇÃO

Térmitas que se alimentam de solo são importantes para o funcionamento dos ecossistemas intertropicais, pois, através de suas atividades de pedoturbação influenciam nas propriedades físicas e químicas do solo (LEE; WOOD, 1971; KONATÉ et al., 1999). Para a construção das estruturas, os térmitas utilizam solo da superfície ou subsuperfície, o próprio excremento, matéria orgânica digerida do solo e saliva (BIGNELL, 2006). Por apresentar uma alta densidade, tanto de espécies como de indivíduos, estes organismos são dominantes sobre a macrofauna edáfica de numerosos ecossistemas.

Térmitas são insetos sociais que constroem ninhos com formas e características diferenciadas de acordo com a espécie. Dentre as espécies geófagas, algumas constroem seus ninhos sobre a superfície do solo, outras em subsuperfície. Entretanto, poucos estudos têm sido feitos para avaliação e caracterização das contribuições destes grupos exploradores do solo na porosidade e estrutura em solos brasileiros. Características como, cavidades, galerias e aterros fomentados pela atividade das colônias devem ser particularmente salientadas, tendo como objetivo o entendimento dos processos de manutenção das propriedades físicas do solo.

No Brasil, o Bioma Cerrado abrange uma área de 205.10⁶ ha, (ADÁMOLI et al., 1986). Atualmente, aproximadamente 50.10⁶ ha está ocupado com pastagens cultivadas (SANO et al., 2000). O Cerrado é um bioma que apresenta alta diversidade da fauna invertebrada do solo, notadamente da macrofauna (CUNHA; COSTA; BRANDAO, 2006) e os primeiros levantamentos indicam a importância dos térmitas no solo (BRANDÃO, 1991; DIAS; BROSSARD; LOPES ASSAD, 1997; BENITO et al., 2004; CONSTANTINO, 2005).

Posteriormente, os levantamentos de Marchão et al. (2009), Vendrame et al. (2009) e Silva et al. (2006) confirmaram a dominância dos térmitas sobre a macrofauna de solos do Cerrado. Reconhecer as diversas feições fabricadas por eles é de fundamental importância para detectar a presença de organismos promotores do estado estrutural do solo, o que implica sua influência direta no funcionamento do solo (LAVELLE et al., 2006).

Ruptitermes (Isoptera, Termitidae) é um gênero neotropical que ocorre em todas as regiões do Brasil. Na América do Sul e na África são representados por 5 espécies (CONSTANTINO, 1999). *Ruptitermes sp.* pertence a subfamília Apicotermitinae e são relatados como consumidores de solo (BACHELIER, 1978; GRASSÉ, 1984) e serapilheira (BANDEIRA, 1991; MATHEWS, 1997). Os operários deste gênero são mais esclerotizados e pigmentados do que outros gêneros que não apresentam soldados (CONSTANTINO, 1999), e são também responsáveis pela defesa da colônia. Informação sobre suas colônias são escassas. Seus ninhos são construídos na subsuperfície do solo, mas algumas espécies vivem em ninhos abandonados construídos por outras espécies (CONSTANTINO, 1999).

Não existem relatos das relações entre *Ruptitermes sp.* com as características ou classes de solo. Em muitas espécies de térmitas, os agregados esféricos usados para construir o ninho são produzidos a partir dos microagregados organo-minerais, mistura de fezes e solo (BOYER, 1956; LEE; WOOD, 1971; BACHELIER, 1978). Estes agregados permanecem quase inalterados no solo por longo tempo, mesmo após o desaparecimento desses organismos (ROOSE, 1981). Essas estruturas ligadas a pedogênese do solo (ESCHENBRENNER, 1986; REATTO et al., 2009) modificam o arranjo estrutural das partículas e alteram suas propriedades físicas e a disponibilidade de recursos para outros organismos (LAVELLE et al., 2006). Em consequência de seu hábito de construção os ninhos apresentam um importante acúmulo de matéria orgânica, quando se compara estruturas biogênicas aos solos adjacentes (ANDERSON, 1984; OKWAKOL, 1987; GARNIER-SILLAM; TOUTAIN; RENOUX, 1988; LÓPEZ-HERNÁNDEZ et al., 2006; BROSSARD et al., 2007).

Além de arquitetarem ninhos subterrâneos os *Ruptitermes sp.* constroem galerias na superfície que apresentam uma morfologia de crostas ou placas, “placards terreux” utilizado por Grassé (1984), “placages” em francês, “sheathings” em inglês, que abrangem uma determinada área do solo, deixando coberto o caminho até o forrageamento onde cortam e carregam pedaços de folhas secas, sementes e materiais em decomposição. Mas, não existem estudos detalhados desses tipos de construções. O objetivo deste trabalho foi avaliar e

caracterizar as estruturas construídas pelos *Ruptitermes sp.* na superfície de um Latossolo do Cerrado (Brasil).

3.3 MATERIAL E MÉTODOS

3.3.1 Área de Estudo

O local de estudo é uma área homogênea de savana, campo sujo com domínio de *Trachypogon sp.*, localizada no Brasil Central (15°35'S, 47°42'W, 1200 m de altitude). A média pluviométrica anual é de 1500 mm, sendo que 80% das chuvas ocorrem normalmente de novembro a abril. A temperatura média anual na área é de 26°C. O solo é um Latossolo Vermelho Amarelo (textura argilosa) (EMBRAPA, 2006), Xanthic Ferralsol (IUSS, 2006), constituído por material de origem sedimentar do precambriano superior. A mineralogia da fase argilosa é dominada por caulinita, gibbsita e goetita (REATTO et al., 2008). As principais espécies de térmitas observadas na área, além do *Ruptitermes sp.*, foram *Syntermes wheeleri* (Termitidae, Syntermitinae) e duas espécies do gênero *Cornitermes* (Termitidae, Nasutitermitinae).

3.3.2 Contagem e Distribuição das Feições na Superfície do Solo

As feições estudadas foram construídas pelos térmitas do gênero *Ruptitermes sp.* (Isoptera: Termitidae, Apicotermitinae) (espécime depositado na coleção do Laboratório de Termitologia, Departamento de Zoologia no Instituto Central de Ciências (ICC) da Universidade de Brasília, número 7507). Foram fotografados 51 quadrantes da superfície do solo de 0,5 x 0,5 m, em malha quadrada de 5x5 m, numa superfície de 25 x 50 m, com superfície total fotografada de 12,75 m² (Nikon E995v1.6; exposição 1/158 seg; F4.7; modo de cores RBG; tamanho das imagens 1536 x 2048 pixels). O processamento das imagens foi feito por segmentação por meio de Rede Neural MultLayer Perceptron. A rede foi treinada com subamostras de cada um dos padrões de cobertura do solo das imagens, e em seguida foi processado o restante do lote. O erro médio quadrático da rede ficou em torno de 0,1% (JORGE, 2007).

A análise estatística foi realizada através de análise de variância e teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3.3.3 Coleta de Amostras

Foram coletadas aleatoriamente três amostras de placas e 10 amostras deformadas de solo a 0-5 cm de profundidade, para análises físicas e químicas; oito amostras de placas e oito cilindros (2,5 cm de altura x 4,99 cm de diâmetro), para a determinação da densidade das placas e do solo; e duas amostras indeformadas em caixa de Kubiena (5 x 5 x 5 cm), para confecção de lâminas delgadas para análises micromorfológicas.

Também foram coletadas 51 amostras de placas, na malha de amostragem de fotografias, para determinar a relação entre a massa de material das placas e a superfície ocupada pelas mesmas.

3.3.4 Amostragem para Macro e Micromorfologia

A morfologia das estruturas foi descrita a campo (amostras secas) e no laboratório com o auxílio de uma lupa (Zeiss Stemi SV 6, objetiva x10 e x20).

Para as análises micromorfológicas as amostras indeformadas foram impregnadas com resina poliéster não saturada diluída com monômero de estireno, e adicionado um pigmento fluorescente (Uvitex OB) para permitir a distinção dos agregados da porosidade quando iluminados com luz ultravioleta (MURPHY, 1986). A partir de blocos, foram preparadas lâminas delgadas (3 x 4,5 cm). As descrições micromorfológicas seguiram os critérios propostos por Bullock et al. (1985). Imagens digitalizadas foram feitas a partir dos blocos e das lâminas delgadas. As imagens foram adquiridas por câmara digital interface DFW-X700 acoplada à lupa e ao microscópio, utilizando o programa de análise de imagens Noesis Visilog 5.4.

3.3.5 Cálculos de Agregados por Classe e Forma

Selecionaram-se seis imagens, adquiridas a partir de blocos de solo impregnados, que foram processadas utilizando o programa de análise de imagens Noesis Visilog. Os agregados foram divididos em três grupos de acordo com sua forma: arredondados, alongados e complexos, por não apresentarem uma forma definida, (utilizar-se-á este conceito definido por Moran et al. (1988), para cálculo de porosidade total (PT) adaptado para calcular a soma das áreas de todos os agregados). Dois índices (equação 1 e 2) foram utilizados para determinar a forma dos agregados, Cooper (1999):

O índice I_1 (Eq. 1) define o grau de arredondamento dos agregados separando os arredondados dos alongados (HALLAIRE; CONTEIPAS, 1993)

$$I_1 = \frac{P^2}{(4\pi A)}, \quad (1)$$

Em que P é o perímetro dos agregados e A sua área

A (Eq. 2) para o cálculo do índice de forma (I_2) serve como complemento do índice (I_1) resultando numa classificação adequada entre agregados alongados e complexos, expresso por:

$$I_2 = \frac{\frac{1}{m} \sum_i (N_I)_i}{\frac{1}{n} \sum_j (D_F)_j} \quad (2)$$

Em que NI é o número de interceptos de um objeto na direção i ($i = 0, 45, 90$ e 135°), DF é o diâmetro de Feret de um objeto na direção j ($j = 0$ e 90°), m é o número de i direções e n é o número de j direções. O índice I_2 é utilizado como complemento ao índice I_1 para obter maior precisão na separação dos agregados por forma.

A definição das classes de tamanho em mm^2 e de forma dos agregados foi feita de acordo com Moran et al. (1988), em três classes de tamanho 0,001-0,01 mm (pequeno), 0,01-0,10 mm (médio) e $> 0,1$ mm (grande) e; três classes de forma (arredondados, alongados e complexos). A partir das imagens nas quais as principais formas de agregados podem ser observadas, procedeu-se a identificação dos mesmos. A percentagem de agregados totais (PT) foi calculada como a soma das áreas de todos os agregados dividida pela área total da imagem.

3.3.6 Caracterização Físico-Química (Placas e Solo Adjacente)

As análises granulométricas foram realizadas utilizando-se solução de hidróxido de sódio e hexametáfosfato de sódio como dispersante. As frações argila e silte foram separadas pelo método da sedimentação e a fração areia por peneiramento (CAMARGO et al., 1986). Foram consideradas cinco classes de diâmetro (mm) das frações granulométricas areia do solo: areia muito grossa (2-1 mm), areia grossa (1- 0,5 mm), areia média (0,5 - 0,25 mm), areia fina (0,25 - 0,10 mm) e areia muito fina (0,10 - 0,05 mm).

A densidade de partículas foi realizada pelo método do picnômetro (CAMARGO et al., 1986). Para determinação da densidade das placas utilizou-se o método do petróleo (querosene), de acordo com Mathieu e Pieltrain (1998). As determinações de pH (KCL) e pH (H₂O) foram realizadas segundo Embrapa (1997) e N total e C total por oxidação a seco pelo autoanalisador CHN (Analyzer CHN Fisons/Carlo Erba NA 2000).

Foi realizado Test t para amostras independentes utilizando o software SISVAR (FERREIRA, 2000).

3.4 RESULTADOS

3.4.1 Atividade do *Ruptitermes* sp na Superfície do Solo

Para a área total fotografada de 12,50 m² nos quadrantes da malha as placas tal como ilustrado nas figuras 3.1 e 3.2 cobrem em média 54,62 % da superfície (máx. 68,31; min. 40,88; dp=6,16). A análise de variância dos valores de cobertura do solo pode ser considerada homogênea (Tabela 3.1) e as diferenças pelo teste Tukey entre as linhas de amostragem da malha não foram significativas. A mediana das medidas de massa das placas é de 2,14 kg m⁻² (n = 51, dp = 0,70 kg m⁻²), sendo importante considerar que a atividade destes térmitas está relacionada ao horizonte superficial do solo.

Tabela 3.1 – Análise de variância da cobertura do solo pelas placas determinadas pela análise das imagens (n=51).

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	Fc	PR>Fc
Área	4	270,5	67,6	1,91	0,12
Erro	46	1627,4	35,3		
Total corrigido	50	1897,9			
CV %	10,8				
Média geral	54,6				

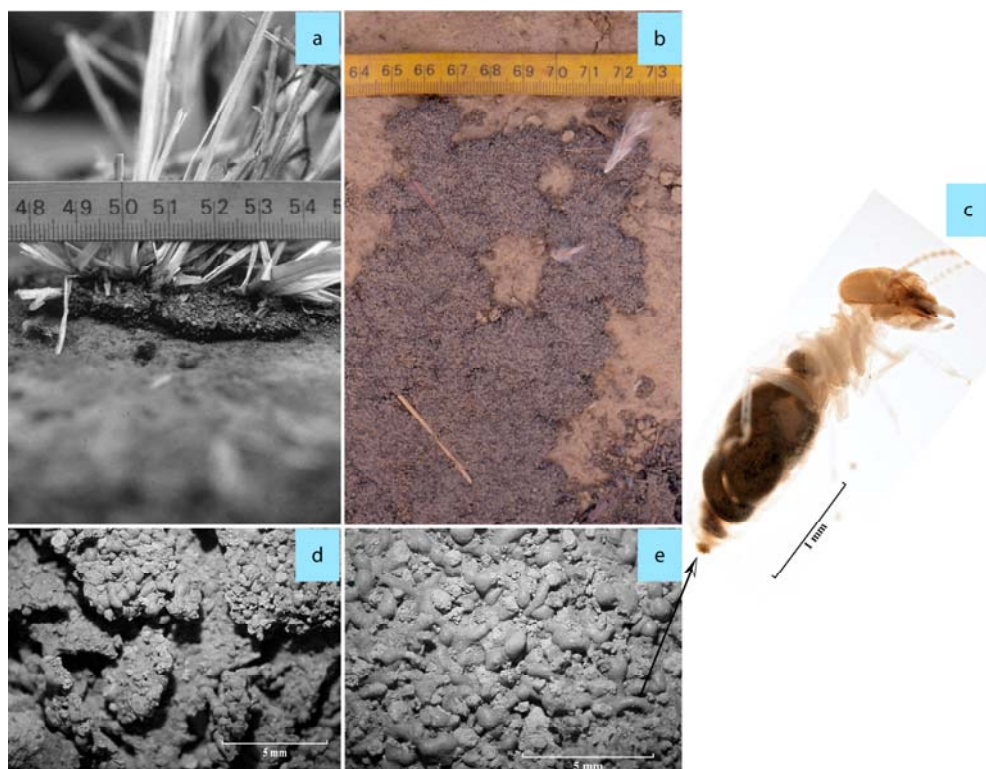


Figura 3.1 – Fotografias das placas superficiais de *Ruptitermes sp* (a) vista em corte na base de uma touceira de gramínea, (b) vista em plano de ocupação da superfície do solo, (c) operário *Ruptitermes sp*, (d) aspecto em detalhe da parte inferior da placa delimitando as galerias entre o solo e a placa, (e) aspecto em detalhe da superfície da placa.

3.4.2 Morfologia e Micromorfologia do Conjunto de Placas

As observações de campo permitiram descrever as organizações das placas. As placas construídas pelos *Ruptitermes sp.* na superfície do solo são uma rede contínua de galerias que abrangem uma área extensa para atingir o recurso trófico. Cada placa é associada a um ninho subterrâneo, entre 0 e 0,3 m de profundidade, ligado por vários orifícios à superfície do solo sob a placa, como pode ser visto nas Figuras 3.1 e 3.2. A espessura da placa tem em média de 1 a 5 mm, podendo chegar a 10 mm no centro das touceiras (Figura 3.1 a).



Figura 3.2 – Fotografia de placa superficial de *Ruptitermes sp.* vista em plano de ocupação da superfície do solo (a) vista de uma placa que dá acesso a uma touceira de *Trachypogon sp.*, (b) vista de agregados soltos oriundos das placas e orifícios que ligam os ninhos subterrâneos à superfície do solo sob a placa e ao recurso trófico.

Macromorfologicamente, à escala métrica, as placas tem uma aparência de crosta de estrutura granular, forte, contínua, sem porosidade aparente, (Tabela 3.2, Figura 3.1b, 3.1d, 3.1e). As placas têm um comportamento relativamente coeso, no estado seco, consistência ligeiramente dura. O conjunto de placas se diferencia facilmente da superfície do solo (Figuras 3.1b, 3.2a). Dentro das placas dois tipos de agregados são observados, os mais abundantes são pelotas fecais do *Ruptitermes sp.*, o segundo tipo são agregados encaixados entre as pelotas fecais provenientes da camada superficial do solo (Tabela 3.2, Figura 3.1e, 3.3a).

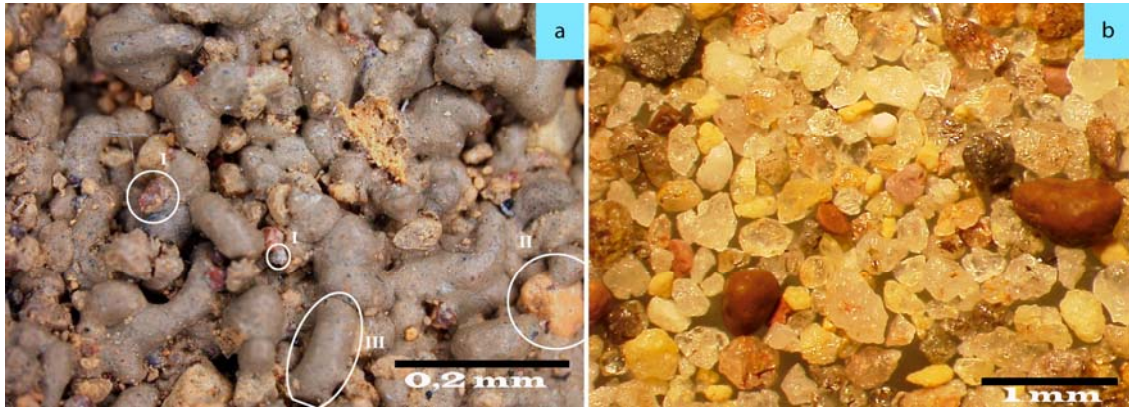


Figura 3.3 – Microfotografias das placas superficiais de *Ruptitermes sp* a) Detalhe da parte superior de placa: I: quartzo; II: agregado do solo; III: pelotas fecais; b) Imagem detalhada da fração mineral selecionada a partir das placas.

Tabela 3.2 – Descrição macro e micromorfológica das placas de *Ruptitermes sp*.

	Excrementos de <i>Ruptitermes sp</i> .	Agregados do solo	Material grosseiro
Macromorfologia	Aparência de uma crosta de estrutura granular, forte, contínua, composta de pequenos agregados (0,5-2,5 mm) sub-arredondados, arredondados e alongados, de cor bruno vermelho (2,5YR4/2), formando uma massa contínua cimentada entre si por material orgânico, lado a lado, sem porosidade aparente, Figura 3.1b, 3.1e	Grânulos sub-angulares, de cor vermelha (2,5YR5/4), encaixados entres os excrementos, provenientes da camada superficial do solo, não passaram pelo trato intestinal, nem foram modificados pelos térmitas, Figura 3.1e 3.3 a.	Pequenos grânulos (0,5-2,5 mm) de quartzo (10%) e outros minerais (5%) de cor avermelhada, amarelado e alaranjado, (Figura 3.2, Figura 3.3)
Micromorfologia	<u>Excrementos intactos</u> Abundantes (75%), Forma: cilíndricos, elipsóides e esféricos. Rugosidade: lisos. Tamanho: (< 0,01-2 mm) Figura 3.3a. <u>Excrementos envelhecidos</u> Coalescência: coalescentes e não coalescentes Desintegração: fissuras Envelhecimento interno: fissuras no interior	Muito poucos (10%), grânulos de solo, arredondados, sub-angulares, lisos a rugosos, (< 0,01-2 mm), Figura 3.3a	Proporção: Poucos (15%), são quartzos, bem selecionados, distribuídos de forma aleatória no interior e ao redor dos excrementos, de forma alongada, arredondada ou elipsóide, tamanho uniforme, (0,1-1 mm). Presença de pequenos nódulos, de forma alongada e arredondada, lisos, cor opaco a preto de 0,1 a 1 mm (Figura 3.6 ^a , 3.7b, 3.7c)

As observações micromorfológicas são coerentes com as descrições de placas *in situ* e as descrições na lupa (Tabela 3.2, Figuras 3.2 e 3.3). As pelotas fecais, (figura 3.3a), em estado úmido, têm aspecto de uma pasta viscosa, massa contínua alongada, elipsóide ou oval, até mesmo arredondada (Figura 3.5d). A descrição das placas e dos blocos de solo na

superfície evidencia um aglomerado de excrementos unidos entre si, quando secos aparece uma porosidade fissural entre os excrementos (Tabela 3.2, Figuras 3.4a, 3.5b 3.5c).

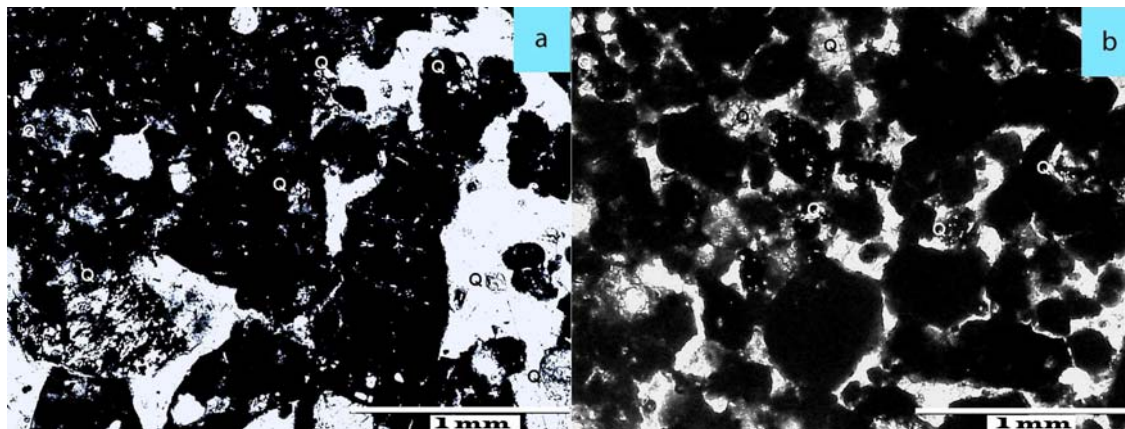


Figura 3.4 – Microfotografias de placas superficiais de *Ruptitermes sp.*; (escala 1 mm); (a) Estrutura microgranular com porosidade de empacotamento (Q: quartzo); (b) Detalhe dos microagregados coalescidos e formação de cavidades policôncavas.

As observações microscópicas do interior das placas revelam várias formas de excrementos justapostos, alongados, elipsóides e arredondados, lisos, formando uma massa densa coalescente (Figuras 3.4a, 3.5d). Observa-se que os grãos de quartzo ao redor e no interior dos excrementos têm distribuição aleatória (Tabela 3.2, Figura 3.4).

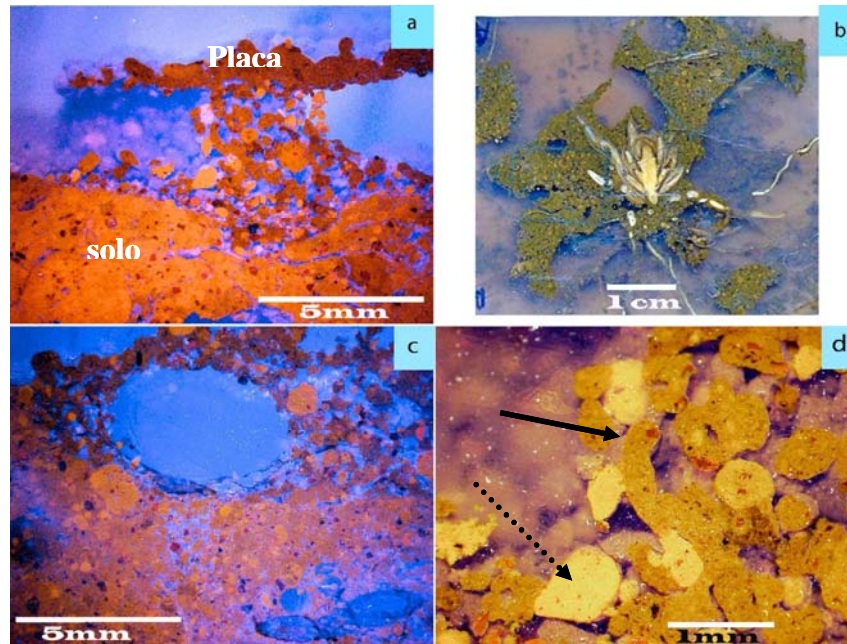


Figura 3.5 – Microfotografias de blocos impregnados de placas superficiais de *Ruptitermes sp* e do solo, cortes perpendiculares a placa: a) Detalhe de solo e uma placa sustentada por um pilar; b) vista em plano paralelo ao solo da formação de uma placa em torno de uma touceira vegetal; c) Detalhe de uma galeria na camada superficial 0-5 cm; d) Detalhe de excrementos compondo uma placa, seta pontilhada indica agregado de solo, seta inteira indica excremento de *Ruptitermes sp*.

Quanto à arquitetura de galerias, os *Ruptitermes sp.* constroem estruturas semelhantes a canais com preenchimentos, com materiais que provavelmente não são utilizados na construção, depositados em espaços vazios. Este material, posteriormente, pode ser utilizado ou descartado. Na seqüência da construção são formados pilares que dão sustentação as placas (Figura 3.5a). É tênue a diferença entre a placa na vertical (pilares) e horizontal. Os *Ruptitermes sp.* formam galerias na camada superficial do solo, são trilhas transversais e verticais com ligações horizontais, formando retículos, seções elípticas que são de fato alvéolos interligados por galerias (Figura 3.5c).

Embora no campo a diferenciação entre placa e superfície do solo seja evidente (Figuras 3.1b, 3.2), ao microscópio é imperceptível a diferença entre o excremento da placa e o solo. Estes excrementos formam blocos subangulares, na maioria das vezes ligados apenas por pequenos pontos de contato. Ao observar os blocos impregnados, pode-se distinguir mais claramente os excrementos dos agregados do solo, (Figura 3.5a, 3.5d). Esta

espécie ao ingerir e expelir na forma de excremento, ou ao moldar os grânulos para construção de galerias, realizam um capeamento final no piso e nas paredes das galerias.

Observa-se no campo que, ao sofrerem o impacto da gota da chuva, as placas são dispersas e formam uma massa de agregados e microagregados arredondados soltos na superfície e mesmo na camada superficial do solo (0-5 cm), (Figura 3.2b).

3.4.3 Descrição dos agregados por Análise de Imagem

Seis exemplos de imagens, que foram binarizadas antes do decorrer das contagens de agregados, são apresentadas na Figura 3.6. Os resultados na Tabela 3.3 referem-se à distribuição do número de agregados, à percentagem da área total de agregados (Forma x Classes de Diâmetro). Os agregados complexos com diâmetro superior a 1 mm ocupam uma percentagem maior na área total das imagens. No entanto, constatou-se uma predominância de agregados arredondados, que se encaixa nas classes de diâmetro menores que 0,2 mm. Esses agregados complexos podem ser interpretados como agregados arredondados coalescentes oriundos de excrementos (Figuras 3.3, 3.6).

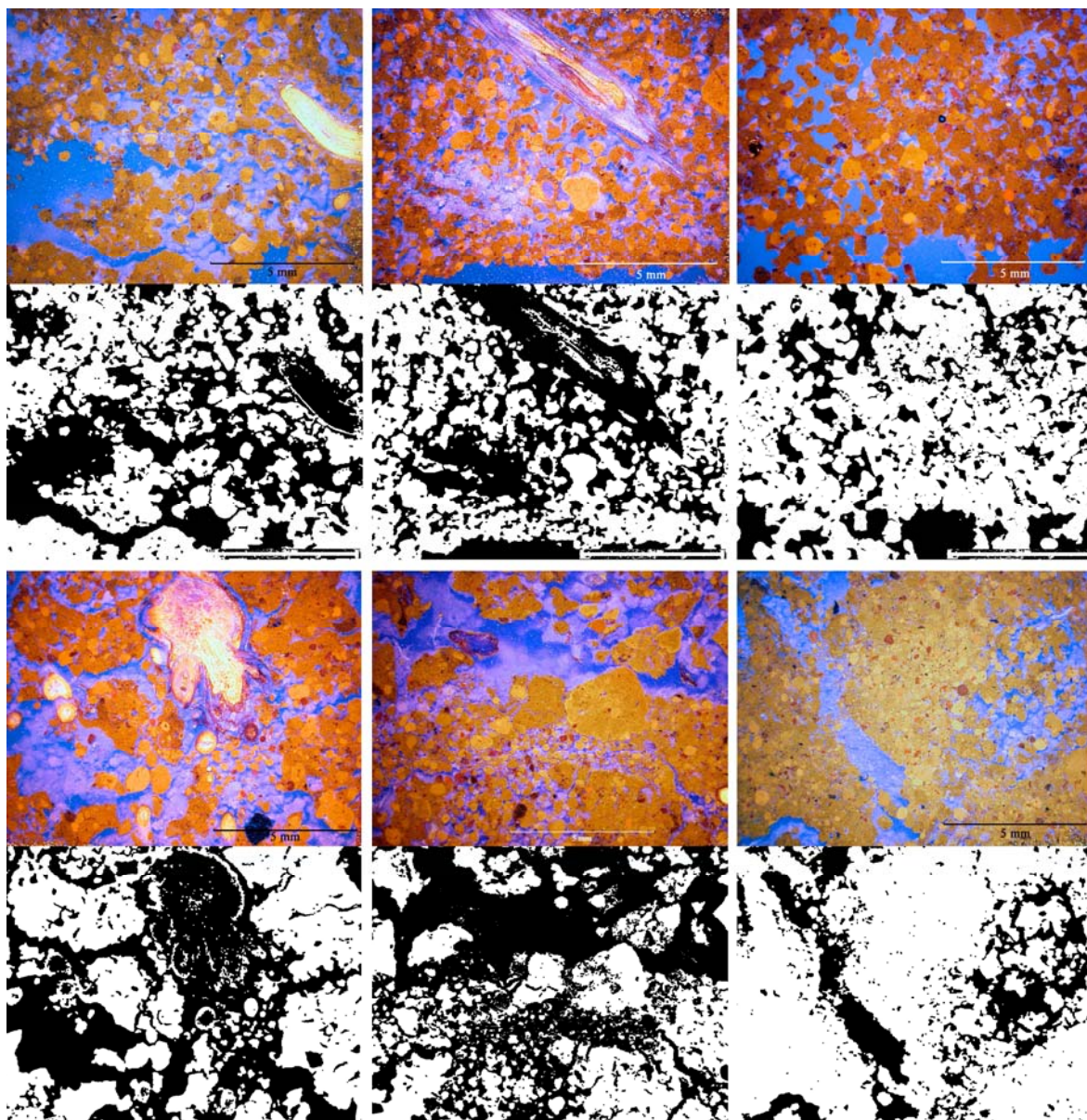


Figura 3.6 – Seis exemplos de imagens originais e binarizadas correspondentes (poróides em preto).

Tabela 3.3 – Análise de imagens de lâminas delgadas de placas superficiais de *Ruptitermes sp.* apresentadas na Figura 3.6) Distribuição média do número de agregados em percentagem da área total ocupada pelos agregados (Forma x Classes de Diâmetro) na imagem.

Forma	Classes de diâmetro mm												
	0,02	0,05	0,05	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,5	0,5	1	>1
Arredondado	17		33		20		9		8		4		1
DP	15		16		7		4		3		1		1
Alongado	0		2		2		1		0		0		0
DP	0		1		1		0		0		0		0
Complexo	0		0		0		0		1		2		4
DP	0		13		0		0		0		1		23

DP= desvio padrão

3.4.4 Caracterização Física e Química (Tabela 3.4)

As análises granulométricas mostraram uma textura argilosa. A fração areia é marcada pelo predomínio de quartzo e outros minerais como feldspatos e micas com densidades mais altas. Observa-se predomínio de argila e silte, mais de 800 g kg⁻¹; no entanto, eles ingerem ou associam às pelotas fecais uma quantidade considerável de areia, já que a quantidade de areia (AG) é superior nas placas. A densidade do solo adjacente apresentou valor médio de 1,13 g dm⁻³ e a placa de 1,34 g dm⁻³ significativamente diferentes. O valor da porosidade total do solo é superior à da placa. O solo adjacente é ácido, com pH em H₂O e KCl de 4,5 e 4,1 já na placa os valores de pH são significativamente superiores. Os teores de Nitrogênio total e Carbono total são superiores nas placas. Quando isolados, os excrementos das placas para análise de N e C total, tem concentrações semelhantes aos valores da placa.

Tabela 3.4 – Resultados das análises físicas e químicas para placa e solo adjacente.

Amostra	Dp	Ds	PT	AMG	AG	AM	AF	AMF	Argila e Silte	N total	C total	C/N	pH H ₂ O	pH KCl
	g dm ⁻³													
Ex. Sel.*										21,0	39,0	18,6		
Placa**	2,53	1,34	47,05	3,17	29,5	57	74	27	809	22,0	39,9	18,3	5,53	4,63
DP	0,01	0,02	0,95	0,06	0,16	0,63	0,65	0,08	1,40	0,02	0,16	1,16	0,06	0,06
Solo***	2,58	1,13	56,21	1,72	7,18	54	100	21	817	14,0	27,1	19,5	4,47	4,11
DP	0,01	0,06	2,11	0,06	0,09	0,43	0,67	0,25	1,23	0,01	0,11	1,31	0,45	0,09
(t> tc)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,21	0,00	0,00

DP = desvio padrão, Dp= densidade de partículas, Ds = densidade do solo, PT = Porosidade total, AMG = areia muito grossa, AG = areia grossa, AM = areia média, AF = areia fina, AMF = areia muito fina, * excrementos selecionados da placa, ** placa de pelotas fecais, ***solo adjacente à placa; (t>|tc|) = Test t para amostras independentes

3.5 DISCUSSÃO

Um fato original, na informação apresentada aqui, é a avaliação da extensa atividade deste térmita na superfície do solo (Tabelas 3.1 e 3.2 e Figuras 3.1, 3.2 e 3.5). As placas construídas pelas colônias de térmitas são galerias cobertas, como observado para espécies africanas, *Hodotermes badius* (BACHELIER, 1978) e *Anacanthotermes ochraceus* Hodotermitidae (GRASSÉ, 1984), essas placas delimitam o volume ocupado pelas galerias de circulação sobre o solo. A rede contínua de galerias, que abrangem uma área extensa serve de proteção para atingir o recurso trófico, as touceiras das gramíneas e a liteira (Figuras 3.1 e 3.2). As placas construídas por *Ruptitermes sp.*, estudadas neste trabalho cobrem mais que 50% da superfície do solo na área avaliada (Tabela 3.1). A aparência de crosta com estrutura granular, formando uma massa contínua cimentada entre si (Figura 3.1a, 3.3a), se deve ao fato de que, no momento da construção, os excrementos, ainda úmidos, são postos lado a lado formando um conjunto “coeso” que vão delimitando as galerias, sem porosidade aparente, o que é sustentado pela densidade de 1,34 g dm⁻³, significativamente superiores aos valores do solo superficial. No entanto, as placas são frágeis a uma pressão pontual.

Os microagregados mais abundantes que constituem as placas são resultantes de excrementos enriquecidos de matéria orgânica, como observado nas Tabelas 3.2 e 3.4 e na Figura 3.3a, confirmando a ingestão de matéria orgânica (MO) por *Ruptitermes sp.*, coerente com observações anteriores (GARNIER-SILLAM; TOUTAIN; RENOUX, 1988). Os *Ruptitermes* fabricam microagregados após ingerir e expelir o solo. O processo pode ser similar ao realizado por *Cornitermes fulviceps*, descrito por Cosarinsky e Roces (2007). Eles

constroem em primeiro plano um ninho sólido na superfície do solo, utilizando material fecal para cimentar os grão de areia ou mesmo solo umedecido com saliva moldado com a mandíbula e, em seguida, as galerias subterrâneas são revestidas com material escuro (argila e matéria orgânica).

Para construir as placas, o *Ruptitermes sp.* utiliza o excremento ainda úmido que é moldado. Os operários agregam partículas de areia e agregados do solo. Posteriormente, as placas se desfazem, restando apenas os macro e microagregados (Figura 3.2b) que são incorporados ao solo por eles ou outro invertebrado, ou fazem parte da superfície do solo. As galerias superficiais são revestidas por uma fina camada (0,05 – 0,1 mm) com uma mistura de MO e argila. Como observado em outros contextos, os resultados estão em conformidade com os tamanhos de feições anteriormente descritas que salientam agregados entre 100 e 350 μm para diversas espécies (STOOPS, 1964; VERHEYE; STOOPS, 1975; MERMUT; ARNAUD, 1984; ESCHENBRENNER, 1986; TRAPNELL; WEBSTER, 1986; CORREA, 1989; MIKLÓS, 1992, REATTO et al., 2008).

As fissuras encontradas nas placas estudadas são, provavelmente, resultado do secamento ou da perda de componentes de adesão com o envelhecimento, resultando numa massa de grãos quando a placa é dispersa (Figura 3.2b). Quando observado as placas na vertical (pilares) e na horizontal, é imperceptível a diferença entre as mesmas, devido ao arranjo das partículas de microagregados seguirem o mesmo padrão de agrupamento ou encaixe. Quanto à diferenciação entre placas e superfície do solo, no campo e laboratório a diferenciação é evidente (Figuras 3.1b, 3.2a, 3.5a), indicando, claramente, o papel destes térmitas na estruturação da camada superficial do solo.

Considerando o valor de $D_s = 0,83 \text{ g cm}^{-3}$ da camada 0-0,1m do solo, este levantamento mostra que esta espécie é capaz de remover até 1 tonelada de solo, representando 2 % da massa dessa camada de solo por hectare. Tomando em conta a fragilidade destas placas, consideramos que elas são continuamente reconstruídas, a fim de manter proteção à atividade superficial do *Ruptitermes sp.* na procura de seu recurso trófico. Dado isto, a nossa avaliação é um valor de patamar razoável, de uma atividade de revolvimento do solo anual, onde este térmita explora a superfície, removendo-a e modificando-a, pela ingestão das partículas de solo, o que representa uma significativa pedoturbação. Em comparação, outros autores registraram valores expressivos de revolvimento: Oliveira et al. (2011), demonstraram uma massa de solo mobilizada de 3 400 a 13 400 kg ha^{-1} em 3 anos, para espécies de ninhos epígenos, Lee e Wood (1971), Boulet et al. (1995) e Kaschuk et al. (2006) encontraram valores mais altos de volume de solo mobilizado, de 4 a

136,6 m³ ha⁻¹, isto está relacionado ao tipo de solo, ao gênero que constrói ninhos epígenos, e diferentes biomas onde foram feitos os levantamentos.

Outro aspecto importante a ser inferido, é a presença de horizontes microagregados nos solos. Nos ambientes intertropicais, volumes importantes de solo são caracterizados por microagregados de 50 a 300-500 µm de diâmetro mesmo nas camadas superficiais do solo (BREWER, 1964; CHAUVEL, 1977; JUNGRIUS; VAN DEN ANCKER; MÜCHER, 1999; BALBINO et al., 2002). Estas microestruturas foram explicadas pela intensa movimentação da fauna invertebrada do solo, e em particular o papel dos térmitas (STOOPS, 1964; VERHEYE; STOOPS, 1975; MERMUT; ARNAUD, 1984; ESCHENBRENNER, 1986; TRAPNELL; WEBSTER, 1986).

Os *Ruptitermes sp.*, por sua vez deixam sua assinatura na superfície do solo. A densidade do solo adjacente apresentou valor médio mais baixo que o da placa, valor justificado pela maior quantidade relativa de areia da fração 0,5 - 0,25 mm, superior a 200 g kg⁻¹, na placa e ao fato das placas terem menos porosidade, pois são construídas de formas que as pelotas fecais são prensadas para formar uma continuidade. O predomínio de grãos de quartzo e outros minerais como feldspatos e micas no interior dos agregados das placas (Figura 3.3), implica na ingestão destes materiais pelo *Ruptitermes sp.* ou, simplesmente, na utilização destes como base no momento da construção. Devido ao tamanho do orifício excretor (0,1 mm) (Figura 3.1c) eles não podem ingerir partículas de minerais superiores a esse tamanho, portanto, estas partículas de minerais de areia (AGM e AG) encontradas, nas placas, são apenas carreadas e usadas para sustentação das mesmas (Tabela 3.4). Por definição (BRAUMAN et al., 2000) são considerados geófagos os térmitas que consomem material altamente heterogêneo. A argila e o silte são importantes para cimentação das paredes das galerias, a razão pela qual esta espécie ingere outros tipos de minerais, se deve ao fato de eles serem geófagos, o que significa que ingerem indiferentemente o material do solo sempre e quando ele tiver tamanho adequado.

As propriedades químicas também são alteradas, o solo adjacente é mais ácido que a placa. Sys (1955) e Asawalam e Johns (2007) também demonstraram que o solo trabalhado por térmitas tem pH mais elevado que o solo adjacente, dependendo da espécie. Os valores de concentrações de N total e C total aumentaram sensivelmente nas placas, com aumento médio de 8 a 12,8 g kg⁻¹ (Tabela 3.4). As observações de Bandeira (1991), da ingestão de liteira pelos *Ruptitermes sp.*, justifica os teores de Nitrogênio total e Carbono total mais elevados nas placas. Holt e Lepage (2000) relatam o enriquecimento de carbono, nitrogênio e argila em ninhos de térmitas, em comparação com o solo adjacente. Para os

Ruptitermes sp., o fato de não haver nas placas agregados de solo suficiente para diluir o valor da matéria orgânica, implica em resultados similares entre placa e excremento selecionado (Tabela 3.4). Os materiais que o *Ruptitermes sp.* utilizam para estruturar a placa, também tem teores similares ao que é consumido, este solo pode ter sido, anteriormente, ingerido e no momento da construção, reutilizado para construir a placa; eles também podem ingerir ou retrabalhar pelotas fecais antigas.

3.6 CONCLUSÃO

1 Um fato original na informação aqui apresentada é que esta é a primeira avaliação da extensa atividade deste térmita na superfície do solo, o que constitui no primeiro trabalho sobre atividades superficiais de térmitas. As feições superficiais do *Ruptitermes sp.* que, “a priori”, parecem discretas, dado o tamanho e o tipo de distribuição no solo, salientam uma atividade de renovação, mistura e reagregação da camada superficial do solo. Esta avaliação, onde *Ruptitermes sp.* explora a superfície, removendo-a e modificando-a, pela ingestão das partículas de solo anualmente, mostra que aproximadamente 2 % da massa de solo da camada 0-0,1m por hectare é removida.

2 Este resultado confirma o papel de térmitas na superfície do solo e particularmente nas microestructuras características comumente observadas, que não são unicamente remanescentes, mas devem ser consideradas como podendo ser constantemente renovadas. Este trabalho é uma contribuição ao reconhecimento dos térmitas serem capazes de conduzir a um elevado nível de homogeneidade a camada superficial do solo. A avaliação do seu papel no campo e as funções que podem ter na dinâmica do solo é inovadora. Portanto, as avaliações de resiliência destas espécies em sistemas de produção devem ser estudadas pela importância que estes insetos sociais têm na manutenção favorável das feições estruturais da camada superficial do solo, sendo que esta espécie parece estar fortemente ligada a um recurso trófico herbáceo, o que reforça o papel deles nos ciclos biogeoquímicos.



Foto: Ninho epígeo de *Cornitermes Cumulans* em área de pastagem cultivada, *Brachiaria brizantha* de 3 - 4 anos de idade.

**PEDOTURBAÇÃO EM UM LATOSSOLO: FEIÇÕES ESTRUTURAIS PRODUZIDAS
POR TÉRMITAS E A FAUNA EDÁFICA ASSOCIADA - RELAÇÕES COM AS
PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO**

No cenário brasileiro os térmitas de montículos aparecem com alta intensidade em pastagens. No entanto, é importante considerar as diversas espécies e suas diferentes construções, como os ninhos epígeos, os ninhos subterrâneos e os ninhos arbóreos.

Neste capítulo serão descritos em diferentes escalas o estado estrutural do solo e ressaltadas a atividade dos térmitas sobre as propriedades macro e micromorfológicas e físicas de um Latossolo Vermelho Amarelo.

4 ARTIGO B: PEDOTURBAÇÃO EM UM LATOSSOLO: FEIÇÕES ESTRUTURAIS PRODUZIDAS POR TÉRMITAS E A FAUNA EDÁFICA ASSOCIADA - RELAÇÕES COM AS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

4.1 RESUMO E ABSTRACT

O papel da biota na formação e estabilização da estrutura do solo tem sido cada vez mais reconhecido. No cenário brasileiro os térmitas de montículos são os mais conspícuos, principalmente em áreas de pastagens. Eles constroem estruturas e transportam agregados de solo contribuindo para a estabilidade funcional do solo. Este trabalho teve como objetivo descrever em diferentes escalas o estado estrutural do solo, reconhecendo a atividade dos térmitas sobre as propriedades macro e micromorfológicas e físicas de um Latossolo Vermelho Amarelo. Foram abertas nove trincheiras ao redor de três ninhos epígeos de *Cornitermes cumulans*. As trincheiras foram dissecadas e as estruturas biológicas descritas e coletadas para caracterização física e micromorfológica. O solo estudado apresenta homogeneidade granulométrica, o que permitiu avaliar as mudanças de densidade do solo, e pela sua mensuração, foi possível salientar o papel de feições produzidas pela atividade dos térmitas. Os dados de penetrometria confirmam as descrições a campo, porém não houve efeito da localização dos ninhos de *Cornitermes cumulans*. A abordagem permitiu salientar ainda o papel de outros grupos faunísticos e suas organizações estruturais, como térmitas do gênero *Apicotermes*, formigas, coleópteros e as dejeções do “minhocuçu”. Por fim, verificou-se que os térmitas homogeneizam a coloração das camadas do solo pelo retrabalhamento e movimentação intensa em várias direções, transportando uma grande quantidade de agregados do subsolo para a subsuperfície.

Palavras-chaves: Micromorfologia. Densidade do solo. Agregação. Porosidade do solo. Bioma Cerrado.

PEDOTURBATION IN A LATOSOL: STRUCTURAL FEATURES PRODUCED BY TERMITES AND ASSOCIATED EDAPHIC FAUNA, RELATIONSHIPS WITH PHYSICAL PROPERTIES

Abstract

The role of biota in soil structure edification and stabilisation is now days recognised. In the Brazilian context termite colonies organised by mounds are the most conspicuous in pasture areas. Termites construct structures and transport soil particles contributing in soil functional stability. But in general it is difficult to attribute a particular feature to specific species. The objective of this paper was to describe the soil structural features and fabric in order to define the termite activity and their paper in the morphological and physical determinism. The work

was based on a four large pits open round *Cornitermes cumulans* epigenous nests, descriptions of features and a large sampling for micromorphological and analytical characterisation. The soil particle size distribution showed a homogenous clayey latosol. These results allowed for bulk density variations associated to structural modifications within the soil faunal activity. Soil bulk density values were related to penetration resistance values and a spatial distribution was done. There was no effect of the *Cornitermes cumulans* colony as initially expected, but the intense activity of other termites species, ants and coleoptera were identified. The surface layers are well structured and the development of soil structure and fabric impulse the measured soil physical parameters. In particular, it was observed that termites homogenised the soil by a multidirectional activity and mixture of material coming from the different soil layers.

Keywords: Soil fabric. Bulk density. Aggregation. Soil porosity. Cerrado bioma.

4.2 INTRODUÇÃO

O papel da biota na formação e estabilização da estrutura do solo está sendo cada vez mais reconhecida. A estrutura do solo, segundo Bullock et al. (1985), "se refere ao tamanho, forma e arranjo das partículas primárias e poros em materiais agregados ou não agregados, e ao tamanho, forma e arranjo de qualquer agregado presente". Ainda, segundo o mesmo autor, as feições pedológicas são "unidades de fábrica discretas presentes nos solos que se diferenciam do material adjacente por diferenças na concentração de um ou mais dos seus componentes". Em conseqüência, a pedoturbação é definida como redistribuição de matéria com reorganização estrutural (HOLE, 1961), podendo ter origem física ou biológica.

A ordem Isoptera tem importância ecológica considerável em ecossistemas tropicais, quando consideradas as modificações que podem causar no ambiente, desde alterações da paisagem até modificações nas propriedades físicas e químicas do solo (HOLT; LEPAGE, 2000). No cenário brasileiro os térmitas de montículos são os mais conspícuos, principalmente em áreas de pastagens. Térmitas promovem transformações no solo pela bioturbação, ou seja, carregam partículas de matéria orgânica e minerais de diferentes profundidades do solo para as construções dos ninhos e de diferentes estruturas; o conjunto dessas atividades faz com que eles sejam reconhecidos como "engenheiros do ecossistema" (LAVELLE; SPAIN, 2001). Nesse contexto é importante considerar as diversas espécies e suas diferentes construções, como os ninhos epígeos, os ninhos subterrâneos e os ninhos arbóreos (BACHELIER, 1978). Os térmitas constroem estruturas no solo, montículos de terra, aterros, galerias, câmaras e ninhos (BOYER, 1971; BACHELIER, 1978; HAUSER, 1978;

OHIAGU, 1979; GRASSÉ, 1984; ESCHENBRENNER, 1994; CAMMERAT et al., 2002), e, deste modo, contribuem de forma significativa para a estabilidade funcional do solo.

Os Latossolos caracterizam-se morfologicamente por uma fraca diferenciação vertical dos horizontes do perfil do solo e pela presença de um horizonte microagregado de grande espessura (EMBRAPA, 2006). Segundo a natureza das rochas mães, esses solos são mais arenosos ou argilosos. Sua microestrutura é fisicamente estável e sua macroestrutura é fortemente desenvolvida em superfície, porém, fraca ou moderada no horizonte B. Os microagregados apresentam formas subarredondadas com diâmetros de 50 a 500 μm (OLIVEIRA et al., 2000). Em alguns Latossolos é observada uma macroestrutura poliédrica subangular e grumosa, geralmente com densidade dos volumes entre 0,8 e 1,2 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (BALBINO et al., 2002).

Os relatos das formas de feições encontradas ao longo do perfil dos Latossolos indicam que essas são provavelmente de origem biológica (VIDAL-TORRADO; LEPSCH, 1999; JUNGERIUS; VAN DEN ANCKER; MÜCHER, 1999; SCHAEFER, 2001; BALBINO et al., 2002; COOPER; VIDAL-TORRADO; CHAPLOT, 2005; REATTO et al., 2009). Mas, apesar dos vários trabalhos sobre o funcionamento biológico do solo, ainda é escasso o número os resultados que mostre o impacto da atividade dos térmitas e permita atribuir essa atividade a um tipo de feição ou, mais precisamente, a uma espécie em particular.

Este trabalho teve como objetivo descrever, em diferentes escalas, o estado estrutural do solo, reconhecendo a atividade dos térmitas sobre as propriedades morfológicas e físicas de Latossolo Vermelho Amarelo. Para simplificar a abordagem, foi escolhido um sítio cultivado com pastagem de 5 anos, caracterizado, unicamente por poucas espécies de térmitas de ninhos epígeos.

4.3 MATERIAL E MÉTODOS

4.3.1 Área de Estudo

O local de estudo é uma área de pastagem cultivada com *Brachiaria brizantha*, com cinco anos, localizada no Brasil Central, Planaltina - DF (15°35'S, 47°42'W, 1.200 m de altitude). A média pluviométrica anual é de 1.500 mm, sendo que 80% das chuvas ocorrem normalmente de novembro a abril. A temperatura média anual na área é de 26°C. O solo é um Latossolo Vermelho Amarelo (A moderado, textura argilosa) (EMBRAPA, 2006),

Xanthic Ferralsol (IUSS, 2006), constituído por material de origem sedimentar do precambriano superior. Segundo Reatto et al. (2008) a mineralogia da fase argilosa é dominada por caulinita, gibbsita e goetita (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 – Caracterização física e química do Latossolo Vermelho Amarelo estudado

Hz	Profundidade	Cor	A	S	AT	Dp	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ / FeO ₃	CO	pH	Ca+ Mg	H+Al	SB	CTC
	cm		(g.kg ⁻¹)			kg.dm ⁻³	g.kg ⁻¹				KCl	Cml (+)kg ⁻¹			
A	0-20/25	2,5YR3/5	600	170	210	2,61	95	274	6,4	2,55	3,6	0,4	4,4	1,51	5,95
AB	20/25-50/70	10YR6/4	680	100	220	2,76	102	266	5,9	1,33	4,4	0,2	3,2	0,24	3,48
BA	50/70-75-90	10YR6/6	730	80	130	2,72	103	258	5,6	0,03	5,1	0,2	2,6	0,19	2,74
BW1	75-90/130	10YR6/6	750	60	130	2,72	100	251	5,6	0,02	5,5	0,2	1,7	0,18	1,92
BW2	130-180	10YR6/6	750	90	160	2,72	101	238	5,4	0,02	5,3	0,2	1,6	0,17	1,75
BW3	180-...	7,5YR5/6	770	90	140	2,72	106	258	6,1	0,02	6,1	0,2	1,3	0,18	1,53

A= argila, S= silte, AT=areia total, Dp=densidade de partícula, CO=carbono orgânico, SB=soma de bases, (Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ + Na⁺), CTC=capacidade de troca catiônica, (SB + H⁺ + Al³⁺). Metodologias: A, S e AT, pipeta; Dp, picnômetro; CO, oxidação pelo bicromato; Ca+Mg, extrator KCl 1N; H+Al, extrator Ca(CH₃COO)² e CH₃COOH a pH 7,0; SiO₂, Al₂O₃, FeO₃, Al₂O₃/FeO₃, dissolução de H₂SO₄ 1:1, (Embrapa, 1997).

4.3.2 Metodologia de Dissecção do Perfil de solo e de Estruturas Biológicas

Ao redor de três ninhos epígeos de *Cornitermes cumulans* Nasutitermitinae, com idade de construção mínima e máxima de três e cinco anos, foram dissecadas nove trincheiras. Os ninhos escolhidos tinham, em média, altura de 20 cm e perímetro basal de 29 cm. As trincheiras foram abertas a 100 cm do ninho e dissecadas em fatias longitudinais de 10 em 10 cm de espessura, 100 cm de largura e 100 cm de profundidade em direção ao ninho (Figura 4.1). Uma das trincheiras foi feita até 300 cm de profundidade. As estruturas biológicas encontradas foram descritas de acordo com Lemos e Santos (1996) e coletadas para análises físicas e micromorfológicas.

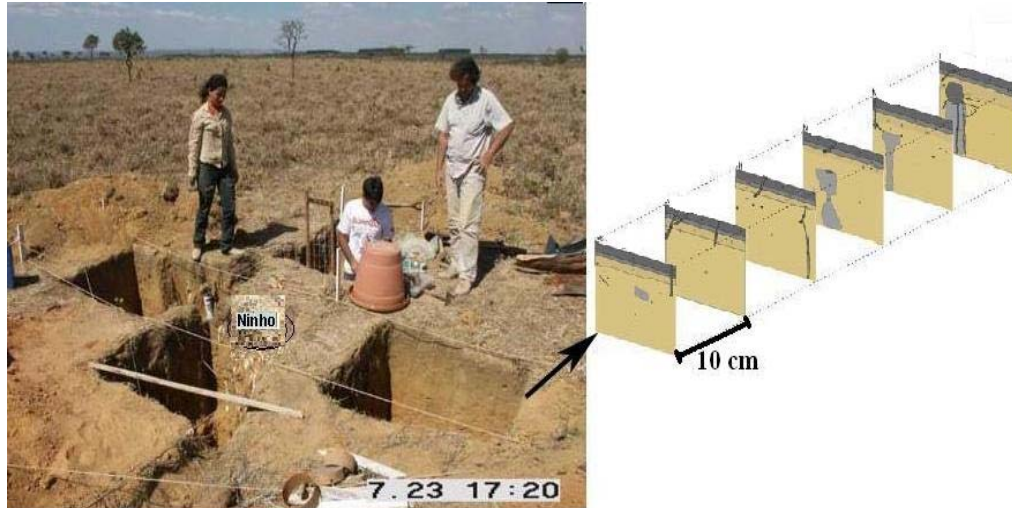


Figura 4.1 –Dissecação de trincheira ao redor de um ninho de *Cornitermes cumulans*.

4.3.3 Coleta de Amostras de Solo e de Estruturas Biológicas

Sistematicamente foram coletadas amostras de solo na parede das trincheiras em diferentes profundidades e a distâncias díspares do ninho, com as seguintes finalidades:

1. Cinco amostras de solo indeformadas em caixa de Kubiena, 5 x 10 cm, a 0-10, 35-45, 80-90, 160-170, 270-280 cm de profundidade, para confecção de lâminas delgadas e análises micromorfológicas de referência;
2. Dez amostras indeformadas, ao longo do perfil, contendo estruturas provenientes da atividade de térmitas em caixa de Kubiena (5 x 10 cm) para confecção de lâminas delgadas e análises micromorfológicas das estruturas;
3. 112 amostras na parede das trincheiras, com quatro repetições, a cada 10 cm, até 290 cm de profundidade, em anel volumétrico (1300 cm³), para medidas de densidade do solo (Ds) pelo método do cilindro (EMBRAPA, 1997).
4. 63 amostras na parede das trincheiras, com quatro repetições, a cada 10 cm, até 290 cm de profundidade, em anel volumétrico (1300 cm³), para avaliação da proporção de agregados por tamisamento a seco (peneiras 19,1; 4,0; 2,0 e 0,84 mm) (VOLLAND-TUDURI et al., 2005);
5. 140 amostras, a cada 10 cm, até 300 cm de profundidade (até 100cm com 12 repetições, e, a partir daí uma amostra), para análise textural e de estabilidade de agregados em H₂O (diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG)) (EMBRAPA, 1997).

6. 30 amostras na parede das trincheiras, em anel volumétrico ($5,5 \text{ cm}^3$), sendo 15 amostras contendo estruturas biológicas no interior e 15 amostras ao redor das mesmas, para verificação da densidade do solo (Ds).

Também foram selecionadas estruturas produzidas por *Cornitermes cumulans*, em um experimento de laboratório conduzido com ninhos em atividades coletados na mesma área de estudo, para confecção de lâminas delgadas e análises micromorfológicas, utilizadas como referência para a espécie.

Para estimativa da resistência mecânica do solo à penetração foram selecionados, aleatoriamente, outros três ninhos. Atribuiu-se quatro linhas centrífugas e octogonais de cada ninho, cada uma com seis pontos, num total de 12 repetições, a 0, 20, 40, 80, 160 e 320 cm, a partir do ninho. No momento da determinação da resistência mecânica do solo à penetração, foram coletadas 6 amostras nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, e 50-60 cm, para determinação da umidade do solo.

4.3.4 Confecção, Aquisição das Imagens e Descrição das Lâminas Delgadas

As amostras indeformadas foram impregnadas com resina poliéster não saturada, diluída com monômero de estireno e pigmento fluorescente (Uvitex OB) (adicionado para permitir a distinção da porosidade quando iluminados com luz ultravioleta) (Murphy, 1986). A partir de blocos (5 x 7,5 cm) foram confeccionadas lâminas delgadas (3 x 4,5 cm). As descrições micromorfológicas seguiram os critérios propostos por Bullock et al. (1985). As imagens digitalizadas com lupa foram feitas a partir dos blocos e as digitalizadas com microscópio, a partir das lâminas delgadas. As imagens foram adquiridas por câmera digital interface DFW-X700 acoplada a lupa e ao microscópio, utilizando o programa de análise de imagens Noesis Visilog 5.4.

4.3.5 Caracterização Física das Amostras

As análises granulométricas foram realizadas utilizando-se solução de hidróxido de sódio e hexametáfosfato de sódio como dispersante. As frações argila e silte foram separadas pelo método do decímetro (CAMARGO et al., 1986) e a fração areia por peneiramento. A definição das classes de diâmetro (mm) das frações granulométricas do solo

foi feita segundo Ferreira (1993), com quatro classes: areia grossa (1 - 0,5), areia fina (0,25 - 0,10), silte (0,05 - 0,002) e argila. (< 0,002).

A resistência mecânica do solo à penetração (RP) foi avaliada utilizando-se um penetrômetro de impacto - modelo IAA/Planalsucar; massa de impacto de quatro quilos com queda livre de 40 cm (STOLF et al., 1983). Os resultados obtidos em impactos dm^{-1} foram convertidos em resistência dinâmica (MPa) por meio da fórmula (STOLF, 1991):

$$RP (\text{kgf cm}^{-2}) = 5,6 + 6,89 N(\text{impactos dm}^{-1}) * 0,0981.$$

Para conversão da RP em kgf.cm^{-2} para MPa, multiplicou-se o resultado obtido na equação por 0,0981=constante, fator de correção.

4.3.6 Tratamento Estatístico

Os resultados foram submetidos a análise de regressão para auto correlação e teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.4 RESULTADOS

4.4.1 Caracterização Morfológica e Granulométrica do Solo

As observações dos perfis a campo permitem verificar que o solo apresentou consistência solta quando seco, e consistência firme, plástico e pouco pegajoso quando úmido. As camadas superficiais dos perfis são bastante estruturadas, com agregados grandes de ± 2 cm e 1 mm, que são blocos formados por pequenos agregados. Há presença de galerias de *Cornitermes cumulans* ($\varnothing = 0,5$ a 2 cm), de Apicotermitinae e de formigas (1 a 2 mm). Nas camadas mais profundas, volume de solo livre, solto, constituído por terra fina, agregados e torrões de tamanhos variados, de 0,1 a 2 cm, sem nenhuma coesão.

Não houve diferença significativa entre os perfis das nove trincheiras para a granulometria, porém, verificou-se efeito da profundidade. A fração argila variou de 731 g.kg^{-1} na superfície a 800 g.kg^{-1} em subsuperfície e a fração silte de 170 g.kg^{-1} a 130 g.kg^{-1} . O solo foi classificado como argiloso a muito argiloso (Figura 4.2).

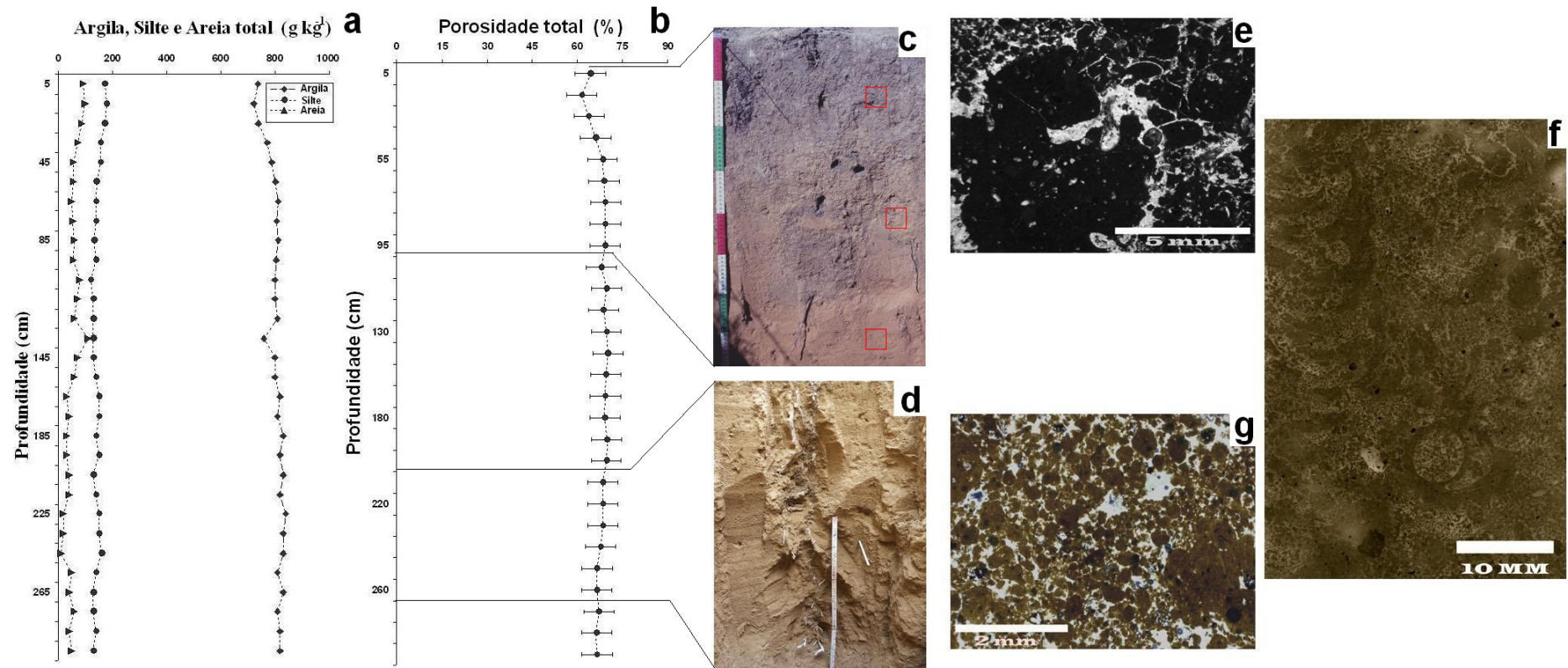


Figura 4.2 –Granulometria, porosidade, localização de amostragem e exemplos de estruturas nos perfis estudados: a) Distribuição vertical das frações granulométricas no perfil; b) Porosidade total no perfil; c e d) Ilustrações do perfil de solo com localização das coletas das amostras para lâminas delgadas e posicionamento de galerias verticais de *Cornitermes cumulans*; e) Pedalidade fortemente desenvolvida, estrutura adensada com agregados coesos, porosidade fissural, e microagregados livres, com porosidade de empilhamento; f) Estrutura pouco adensada, solta, com agregados granulares e volumes densos sub-angulares associados aos volumes microagregados, dando origem a uma zona enáulica; g) Estrutura microagregada com agregados elementares livres, porosidade de empilhamento e alguns volumes densos.

Nos perfis descritos foram observadas estruturas fabricadas por térmitas, minhocas e coleópteros. Essas estruturas são de cores diferentes do solo adjacente, são restos de construções de galerias ou excrementos recentes ou antigos. Verificou-se a presença de muitas galerias pequenas (Apicotermatinae não identificados) na parede do perfil, encontradas até 2 m de profundidade, conferindo ao perfil aspecto de “esponja”.

As observações confirmaram a bioturbação em todos os perfis, sobretudo devido à homogeneização de diversos materiais oriundos das diferentes camadas (Figura 4.3). Em todos os perfis observa-se a presença de grânulos de solo até 300 cm de profundidade, produto da bioturbação. A descrição morfológica de um perfil (ninho 1) é apresentada como referência no Apêndice A.

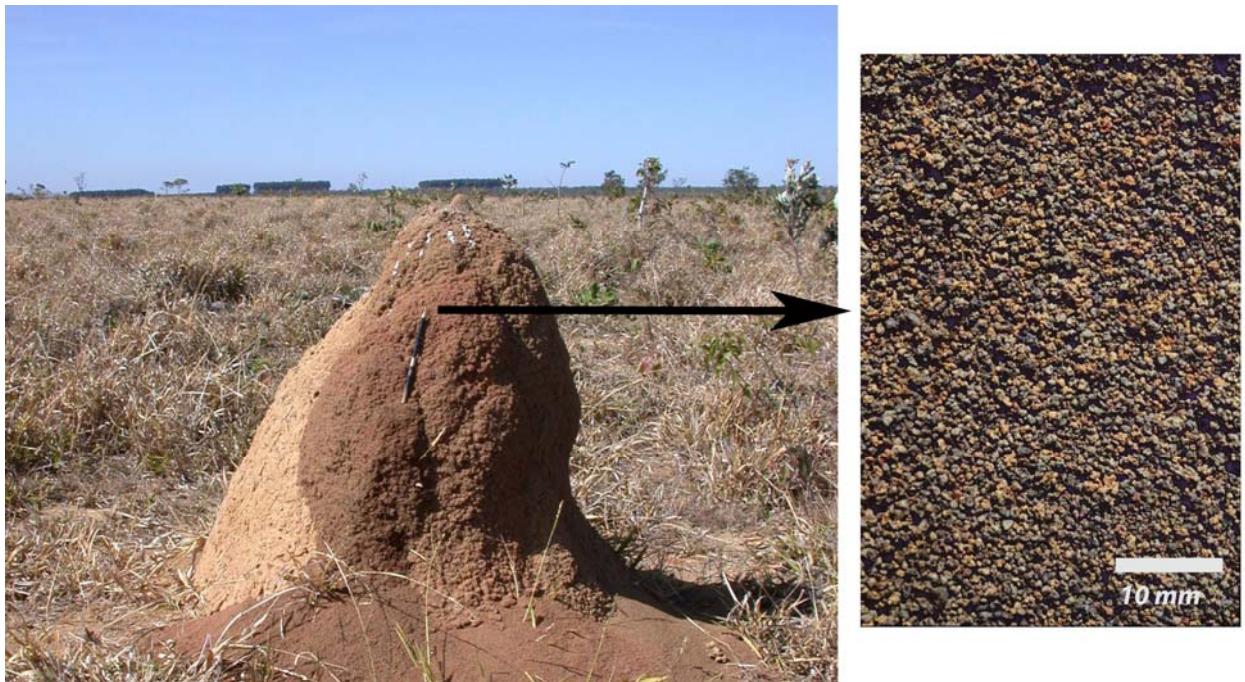


Figura 4.3 – Ninho de *Cornitermes cumulans* e detalhe da parede exterior constituída por 3 classes de agregados de cor bruna das camadas superficiais do solo, vermelho e amarelo/vermelho do horizonte BW.

Os *Cornitermes cumulans* constroem ninhos epígeos, enquanto alguns *Nasutitermes* sp. constroem seus ninhos abaixo da camada superficial (30 - 45 cm), onde carregam solo da superfície e matéria orgânica (MO) para camadas mais profundas.

4.4.2 Caracterização Micromorfológica

4.4.2.1 Micromorfologia das camadas do perfil

As lâminas delgadas nas diferentes profundidades, permitem verificar um perfil bastante homogêneo, com trama porfírica e fissuras separando os agregados. Há presença de porosidade, com predominância de cavidades policôncavas, canais com paredes bem definidas, com preenchimento completo ou não (Figura 4.4a), e cavidades arredondadas (Tabela 4.2). Nas camadas superficiais, os microagregados apresentam grau fortemente desenvolvido. Os agregados encontram-se completamente individualizados e parcialmente acomodados (Figura 4.4b), com unidades subarredondadas separadas inteiramente por poros e algumas fissuras. Na profundidade entre 40-50 cm é marcante a presença de *Apicotermes* formando uma zona enáulica. Eles são encontrados a profundidades superiores a 2 m (Figura 4.2f).

No horizonte Bw o grau de desenvolvimento dos microagregados é fraco indicando uma individualização incipiente, os microagregados estão fortemente unidos uns aos outros e podem ser interpretados como agregados arredondados coalescidos (Figura 4.4c). A partir de um metro de profundidade já é possível encontrar feições de pedo-relíquias, proveniente da rocha matriz, reconhecíveis pela sua estrutura e trama litológica, e cor avermelhada (Figura 4.4d). Há forte presença de nódulos de ferro ao longo do perfil (Tabela 4.2).

Em camadas superiores a 2 m de profundidade foram encontrados excrementos de *Cornitermes cumulans* integrados ao solo (Figura 4.5a, 4.5d).

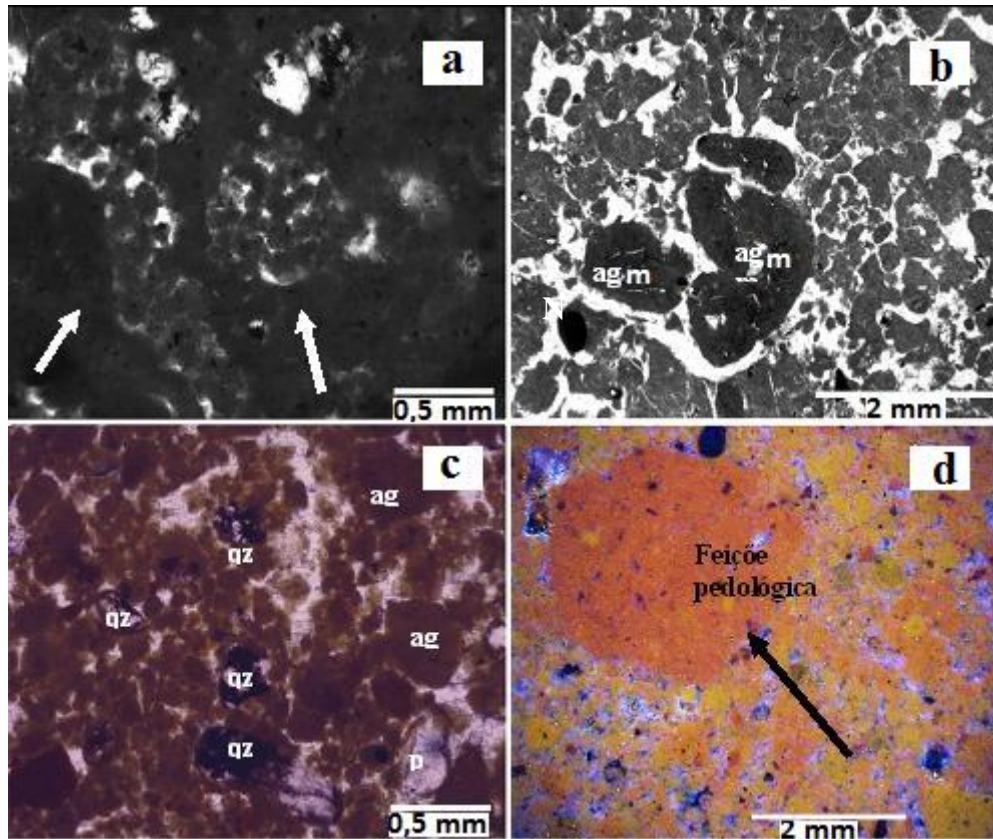


Figura 4.4 – Detalhes de microestruturas e feições observadas: a) Galerias de *Apicotermiteae* sp com preenchimento denso contínuo, a 0-10 cm de profundidade; b) Agregados em blocos na mesma camada (agm=Coprólito de minhocuçú); c) Agregados granulares (ag), quartzo (qz), a 160-170 cm; d) A 67 cm, agregado arredondado granular dentro da matriz microagregada, feição pedológica.

Tabela 4.2 – Síntese da descrição micromorfológica do perfil de referência – perfil 1, ninho 1

Prof. (cm)	Material grosseiro	Trama/plasma	Microestruturas	Porosidade	Pedofeições
0-10	Grãos de quartzo (0,05-5 mm), 5%; e de feldspatos, 0,1%	Porfírica aberta, porfírica enáulica / marrom escuro	Agregados arredondados e subarredondados, rugosos a lisos e ondulares, formamando blocos subangulares (alguns grânulos), (0,1-3 mm), 50%, moderada a bem desenvolvida	Entre-agregados e intra-agregados, câmaras, cavidades e fissuras (0,5-3 mm) com abundância de 40%, canais (0,5-4 mm) com distribuição aleatória	Poros com preenchimentos e limites externos adensados ou não; massa de solo adensada, sem forma definida; nódulos de ferro 1%
35-45	Grãos de quartzo (0,05-0,8 mm) arredondados e subarredondados, com alteração do tipo irregular, grau I, 5%; e feldspatos, 0,1%	Porfírica aberta / marrom escuro	Agregados granulares, (0,01-5 mm), não acomodados (soltos), pedalidade moderada a forte	Entre-agregado e intra-agregados, (50%), cavidades (0,02-1 mm), canais (0,1-5 mm), fissuras (1 mm)	Poros preenchidos com microagregados e com limite externo adensado ou não; nódulos de ferro distribuídos de forma aleatória
80-90	Grãos de quartzo (0,1-0,8 mm) arredondados e subarredondados, com alteração peculiar e linhas cruzadas, 5%	Porfírica aberta, porfírica enáulica / amarelo avermelhado, salpicado	Agregados granulares, (0,01-3 mm), acomodados (soltos), podendo haver agregado (9 mm), pedalidade fortemente e moderadamente desenvolvida	Entre-agregado e intra-agregados, (30%), empilhamento, cavidades policoncavas (0,1-1 mm), canais (0,1-2 mm), fissuras (1 mm)	Nódulos de ferro arredondados, contorno nítido, distribuídos de forma aleatória, 0,8%
160-170	Grãos de quartzo (0,1-1 mm) arredondados e subarredondados, com alteração peculiar, grau I e II, 2%; feldspatos, 0,1%	Porfírica aberta, porfírica enáulica / amarelo avermelhado, salpicado em mosaico	Agregados granulares, (0,01-3 mm), parcialmente acomodados (blocos), pedalidade fortemente desenvolvida	Entre-agregado e intra-agregados, (45%), empilhamento, cavidades policoncavas (0,5-1 mm), canais (0,1-2 mm), fissuras (0,1-0,5)	Nódulos de ferro típicos ou fortemente impregnados, (0,1-2 mm), arredondados e subarredondados, distribuição aleatória, 0,5 %
270-280	Grãos de quartzo (0,1-8mm) arredondados e subarredondados, com alteração irregular, grau I e II, 1 %	Porfírica aberta, porfírica enáulica / amarelo avermelhado, salpicado em mosaico	Agregados granulares, (0,01-3 mm), parcialmente acomodados (blocos), pedalidade fortemente desenvolvida	Entre-agregado e intra-agregados, (20%), empilhamento, cavidades policoncavas (0,1-1 mm), canais (0,1-7 mm), fissuras (0,1-01)	Nódulos de ferro típicos ou fortemente impregnados, (0,1-1 mm), arredondados, distribuição aleatória, 0,5%

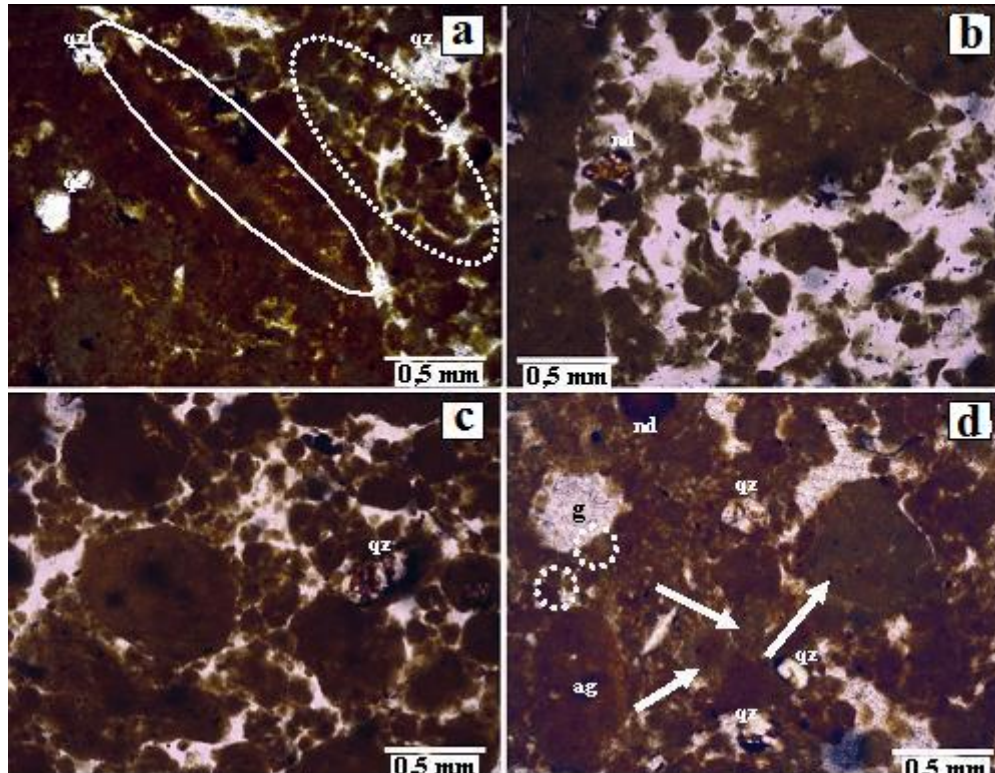


Figura 4.5 – Detalhes de microestruturas e feições observadas: a) A 270-280 cm, círculo inteiro mostra a parede de uma antiga galeria, círculo pontilhado, microagregados, excrementos antigos em fase de desestruturação evidenciando o capeamento de argila se desfazendo; b) A 45 cm, cavidade de Apicotermiteinae em parte preenchida com grânulos de solo e excrementos de térmitas; c) A 270-280 cm, estrutura microgranular; d) A 270-280 cm, as setas indicam excrementos de *Cornitermes cumulans* e os círculos, excrementos de Apicotermiteinae dentro de uma galeria; nódulo de ferro (nd), quartzo (qz), agregado (ag).

4.4.2.2 Micromorfologia das feições

Observou-se a presença de canais com preenchimentos densos, completos ou incompletos, contínuos, descontínuos ou soltos, de forma tubular simples ou elipsoidal e preenchidos total ou parcialmente por materiais de diferentes origens (Tabela 4.3; Figuras 4.4a, 4.5b); estes materiais de preenchimento são, por vezes, restos de solo não utilizados nas construções. Observa-se também galerias de *Cornitermes cumulans* com paredes bem definidas, revestidas (0,5 mm) com MO e algumas sem revestimento, com argila “pura” nas bordas, de cor creme amarelado (Tabela 4.3; Figura 4.6, Apêndice A).

Excrementos antigos apresentam alterações de sua forma e arranjos originais, podendo apresentar coalescência ou desintegração, massa densa indiferenciada,

principalmente quando em sua composição predominam compostos orgânicos finos (Figura 4.4a). Os excrementos desintegrados que aparecem com rachaduras mostram provavelmente perda dos compostos de adesão (ou foram causados na secagem e impregnação dos blocos), resultando numa massa amorfa de grãos. Há evidências de que esses excrementos foram retrabalhados por outras espécies da macrofauna do solo (Figura 4.5d, 4.6).

Excrementos frescos ou recentes apresentam-se discretos e intactos ou parcialmente intactos. Foi possível, pela forma da estrutura e presença do inseto, indicar o grupo da fauna que esteve em atividade no solo (larvas de coleópteros, térmitas, formigas) (Tabela 4.3, Figura 4.5b, d). Os excrementos formam blocos de microagregados com trama porosa ou densa (Figura 4.5a, 4.6)

Tabela 4.3 – Características micromorfológicas de feições biológicas encontradas nos perfis

Profundidade (cm) e tipo de feição	Material grosseiro	Trama/plasma	Microestruturas	Porosidade interna	Pedofeições
0 - 100 Galerias de <i>Cornitermes cumulans</i> : circular, Ø = 5-15 mm (Figura 4.6a, 4.6b)	Quartzos (0,1-0,6 mm), poucos, bem selecionados	Porfírica, argilás, bem definidas, revestimento marrom escuro nas bordas (0,5 mm)	Bem desenvolvida, formada por microagregados arredondados, rugosos a lisos, que formam as paredes	Pouco visível, com fissuras que surgem devido a acomodação orientada	Nódulos de ferro (frequentes)
10 - 20 Estruturas de <i>Cornitermes cumulans</i> : parede de galerias principais que saem do ninho, (Figura 4.6c)	Quartzos (0,1-0,5 mm), 10%, arredondados, distribuição aleatória, com alteração irregular grau I e II, envolvidos por argila	Porfírica aberta, creme amarelado e marrom escuro e/ou avermelhado	Microgranular adensada, de forma orientada, acomodada, originando uma parede espessa de até 10 mm. Devido a esta orientação observou-se linhas finas que separam os blocos de agregados	Nula, com possíveis fissuras que surgem devido a acomodação orientada	Nódulos de ferro típicos, puro ou fortemente impregnados
15 - 25 Galerias de <i>Syntermes</i> sp1 (Figura 4.6d)	Quartzos (0,1-0,5 mm), 5%, arredondados, distribuição aleatória, com alteração irregular grau I e II	Porfírica aberta, creme amarelado e marrom escuro	Microgranular, adensada, de forma orientada, acomodada, originando uma parede espessa de até 5 mm	Pouca, com fissuras que surgem devido a acomodação orientada	Nódulos de ferro típicos fortemente impregnados (frequentes)
5 - 20 Excremento orgânico de coró (Coleoptera Melolonthidae), (0,5-2 mm) (Figura 4.7a)	Quartzos (0,1-0,7 mm), 10%, bem selecionados, distribuição aleatória, forma alongada, arredondada ou elipsóide, tamanho uniforme	Tipicamente porfírica, e algumas vezes gefúrica/organo-mineral, marrom escuro	Excrementos intactos: forma esférica e elipsoidal Excrementos envelhecidos: coalescentes e não coalescentes, com fissuras de envelhecimento interno	Não visível, mas com poros intra-excrementos	Nódulos de ferro, limites nítidos e distribuídos de forma aleatória
5 - 20 Excremento orgânico de coró (Coleoptera Melolonthidae): (3 x 7 mm) (Figura 4.7c)	Fibras de celulose, abundantes e quartzo raros (0,1-0,8) mm.	Fibrosa, organo-mineral, marrom escuro	Excrementos intactos: forma esférica e elipsoidal Excrementos envelhecidos: fissuras no interior	Pouco visível, mas com poros intra-excrementos.	Ausente
0 - 100 Coprólito de minhocaçu (Figura 4.7b)	Quartzos (0,1-0,5 mm), 5%	Porfírica aberta, creme amarelado	Adensada e acomodada na forma de discos que se coalescem	Não visível, com fissuras entre-agregados (discos coalescentes)	Ausente

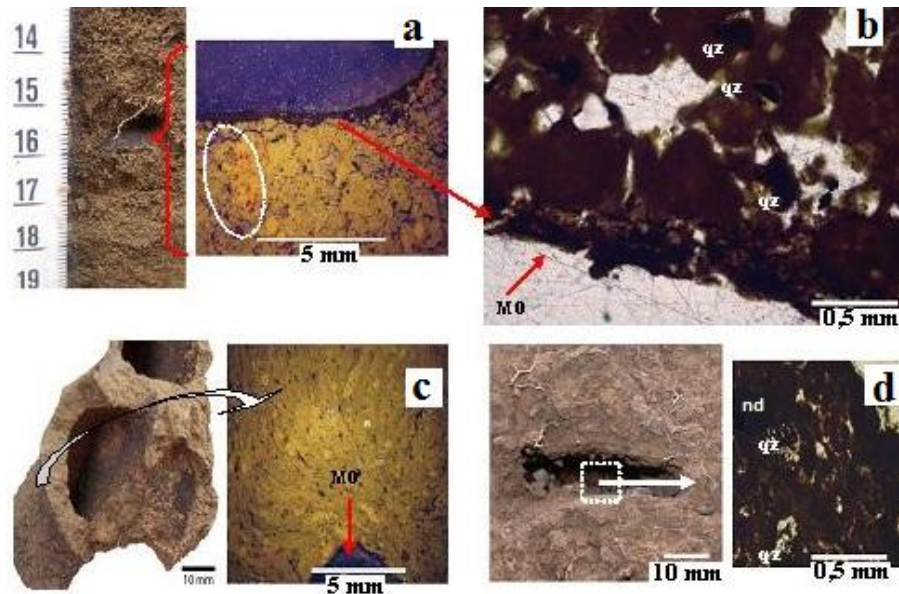


Figura 4.6 – Tipologia de galerias de térmitas: a) Detalhe de galeria de *Cornitermes cumulans*, círculo pontilhado, indica um agregado de solo oriundo da profundidade > 2 m; b) As setas apontam o revestimento com MO na parede da galeria; c) A 45 cm de profundidade, detalhe da microestrutura estriada constituída por dejeções, minerais e microagregados do solo (amarelados) fabricados por *Cornitermes cumulans*, à esquerda, parede de galeria principal lateral (periécia) que sai do ninho em direção a subsuperfície; d) A 20 cm de profundidade, detalhe de galeria de *Syntermes* sp1, porosidade fraca a nula constituída por microagregados coesos; nódulo de ferro (nd), quartzo (qz).

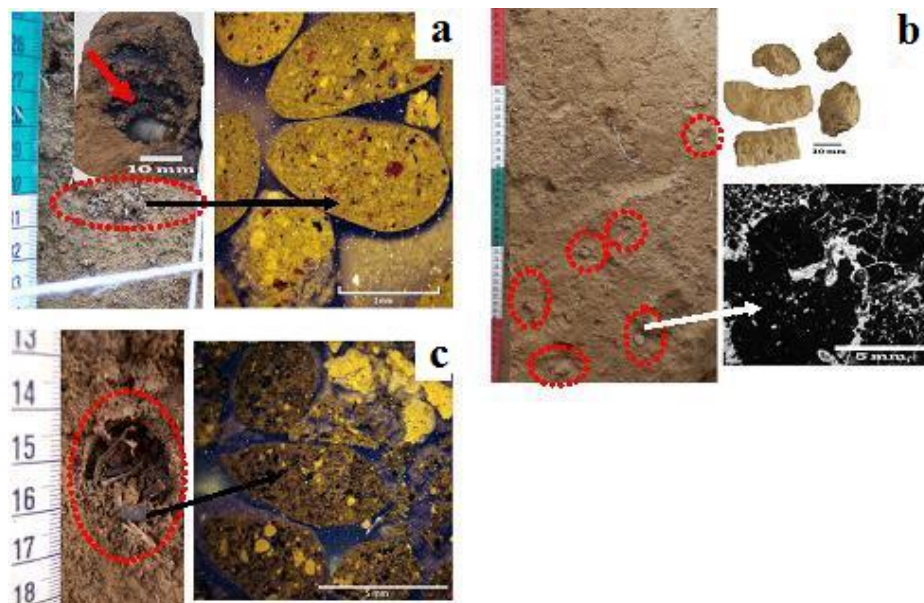


Figura 4.7 – Feições de coleópteros e minhocaçu: a) Detalhe de excremento de larva de coleóptero (Coleoptera Melolonthidae), seta vermelha mostra a larva e o círculo pontilhado uma galeria preenchida com excrementos, a seta preta mostra em detalhe o excremento orgânico; b) Detalhe de coprólito de minhocaçu, os círculos pontilhados mostram os coprólitos ao longo do perfil; c) Detalhe de excremento de larva de coleóptero (Coleoptera Melolonthidae), o círculo pontilhado evidencia uma galeria preenchida com excrementos, a seta preta mostra em detalhe o excremento fibroso.

4.5 ATRIBUTOS FÍSICOS

4.5.1 Estabilidade de Agregados

Os valores de DMP (diâmetro médio ponderado) e DMG (diâmetro médio geométrico) variam de 1 a 4 mm e de 2 a 5 mm (Apêndice B); não houve diferença significativa, quando comparado as nove trincheiras.

Os resultados do tamisamento a seco indicam maior quantidade de solo retido na peneira 0,84 mm; não houve diferença significativa entre as nove trincheiras, porém a proporção dessa classe de tamanho aumentou com a profundidade (Figura 4.8, Apêndice B).

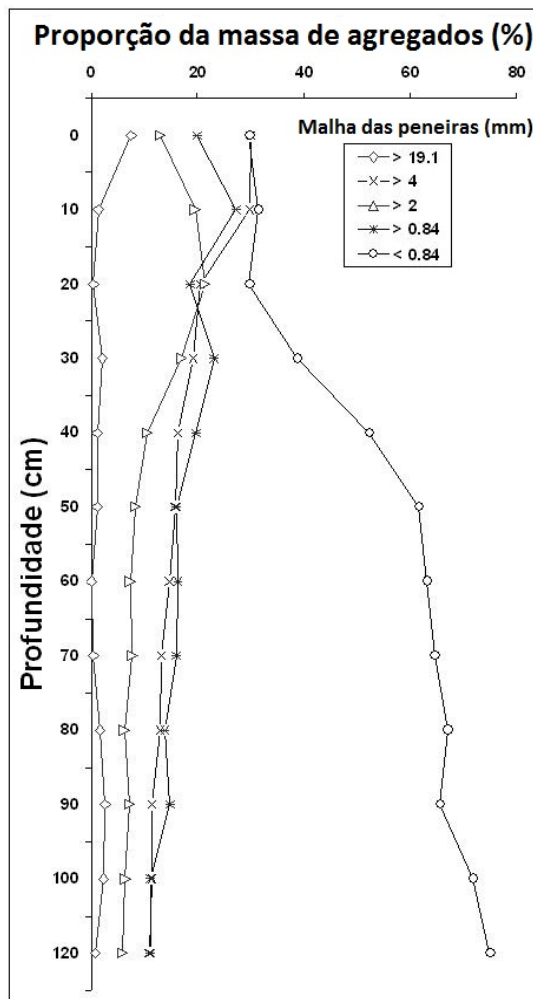


Figura 4.8 – Distribuição das frações granulométricas de agregados obtidas pelo método do tamisamento em seco (g.100g solo seco, valores médios de todos os perfis).

4.5.2 Resistência à Penetração, Densidade do Solo e Densidade das Feições

A densidade do solo (D_s) variou de 0,8 a 1,05 kg.dm^{-3} , em 0-10 e 20-40 cm; abaixo desta camada, permaneceu em 0,8 kg.dm^{-3} (Figura 4.9a). Os volumes de solo contendo feições de origem biológica apresentaram densidades que variaram de 0,7 a 1,8 kg.dm^{-3} (Tabela 4.4).

Tabela 4.4 - Densidade do solo (D_s), em kg.dm^{-3} , de amostras contendo feições biológicas (1), de amostras ao redor das mesmas (2) e de amostras coletadas na parede do perfil de referência (3), nas mesmas profundidades.

Amostras contendo	Profundidade			
	(cm)	(1)	(2)	(3)
Volumes de solo escuro	12	1.1	1.3	0.9
Galeria de coleóptero, com excremento de larvas	13	1.7	1.4	1.0
Galeria de <i>Cornitermes cumulans</i>	16	1.4	1.4	1.0
Volumes de solo escuro	20	1.1	1.0	1.0
Volumes de solo escuro	20	1.2	1.1	1.0
Volumes de solo escuro	20	1.2	1.1	1.0
Galeria de coleóptero	20	1.2	1.0	1.0
Galeria de <i>Cornitermes cumulans</i>	26	1.1	1.4	1.0
Volumes de solo escuro	30	1.3	1.0	1.0
Galeria de coleóptero	34	1.0	1.1	1.0
Estrutura maciça	35	1.2	1.2	1.0
Galeria de coleóptero	40	1.4	1.0	0.9
Câmara preenchida com solo solto	50	1.7	1.4	0.9
Câmara preenchida com solo solto	50	1.6	1.0	0.9
Câmara preenchida com solo solto	50	1.8	1.1	0.9

A resistência à penetração foi analisada para verificar a influência da atividade de *Cornitermes cumulans* sob a mesma. Aferiu-se que os valores continuaram constantes quando as medições se distanciavam do ninho, havendo variações somente em profundidade. Os dados de penetrometria confirmam as descrições a campo; onde se verificou uma faixa de maior resistência na profundidade de 20-30 cm (Figura 4.9b).

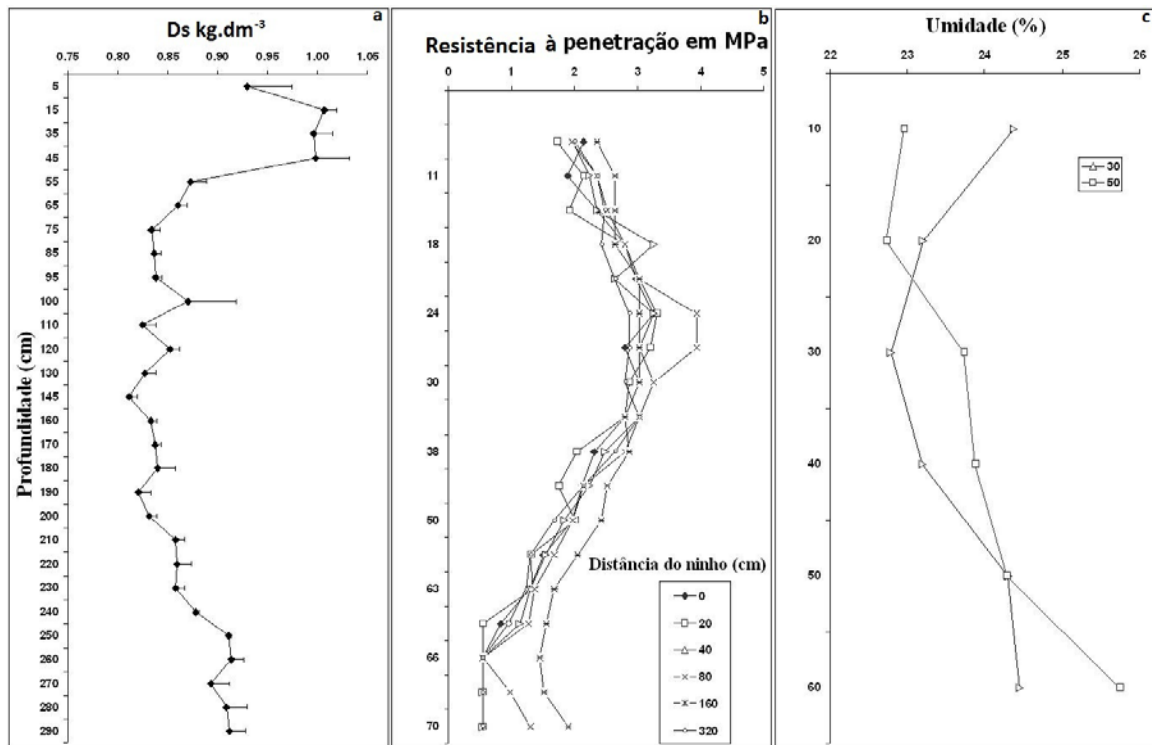


Figura 4.9 – (a) Densidade do solo do perfil de referência na profundidade de amostragem (0-300 cm) (as barras indicam o intervalo de confiança 0,5 %), (b) média da resistência do solo (0-70 cm) à penetração em torno dos ninhos e, (c) teor de água do solo no perfil de referência (θ) (0-60 cm).

4.6 DISCUSSÃO

Jungerius, Van Den Ancker e Múcher (1999) descreveram quatro estágios para explicar a contribuição dos térmitas na formação da estrutura microgranular do solo: primeiro empilham microagregados formando agregados compostos, depois os carregam para a superfície, em seguida, cimentam estes agregados na parede do ninho; posteriormente, os ninhos são abandonados e desintegrados pela ação do tempo. Ao desintegrarem-se os agregados e microagregados “retornam” ao perfil do solo pela ação dos térmitas e outros insetos (coleópteros). Esses microagregados estáveis são observados dentro de canais abandonados de forrageamento e por todo o perfil do solo, neste caso os térmitas aproveitam galerias de outros invertebrados para transitar ou apenas depositar material que não serão utilizados em suas construções, dando origem a canais preenchidos completamente com agregados que depois se coalescem.

No caso deste estudo, essas ocorrências não podem ser simplificadas a este ponto. Primeiramente, o volume total do solo é explorado ao mesmo tempo por várias

espécies de térmitas, formigas, outros insetos e minhocas. A atividade biológica das diferentes espécies e a fabricação de suas respectivas estruturas acontece ao mesmo tempo, sendo que pode haver simultaneamente novas construções e alterações de outras mais antigas, como construções que abrigam outras espécies que não as construíram. O conjunto de processos dessas construções tem efeito nos valores de densidade do solo. O fato dos térmitas construírem variados agregados oriundos de diversas partes do solo e promoverem a diversidade da natureza das feições e dos microagregados indica uma ação global de sua atividade no volume total do solo.

A distribuição das frações granulométricas nos perfis indica homogeneidade do solo. Neste sítio os solos estão desenvolvidos sob o mesmo material, apresentam a mesma textura em profundidade, e, assim, pode-se considerar que a densidade do solo D_s está relacionada com o desenvolvimento das estruturas biológicas, fato já demonstrado por Calhoun et al. (2001), em outros ambientes.

A homogeneidade textural pode estar associada ao fato de que ao movimentar o solo, os térmitas não demonstraram preferência pelo tamanho de partícula a ser transportada. Semelhante observação foi feita por Jouquet et al. (2002), em solo da África do Oeste. No entanto, observações do tipo de material transportado pelos térmitas são importantes. De maneira geral, eles transportam todo tipo de material, sendo que, argila, silte e MO, são importantes para as construções. No artigo A ficou demonstrado que o *Ruptitermes* sp. realiza uma triagem dos grânulos de areia ao ingerir o solo. No campo, é possível distinguir nas diferentes construções o horizonte de origem dos agregados (Figura 4.2). No caso de *Cornitermes cumulans* estes agregados são retirados no momento das construções das galerias e reaproveitados para a construção dos ninhos epígeos, mas, parte é deixada em aterros ao longo do perfil em galerias abandonadas. O mesmo procedimento foi observado para os *Apicotermes*, que prensam os microagregados para construção de galerias.

Uma forte agregação é observada ao longo dos perfis. Ao nível da macroestrutura são observados, nas camadas superficiais, agregados, com formas e tamanhos variados, oriundos da erosão e dismantelamento de ninhos de térmitas, tanto epígeos como endógeos, coprólitos de Oligochaeta, Glossoscolecidae (minhocuçu) e excrementos de larva de coleóptero (Coleoptera Melolonthidae), que são extremamente estáveis pela mistura argila/MO (Figura 4.7). Essas feições são depois retrabalhadas e incorporadas ao solo pela ação da macrofauna. Garnier-Sillam; Toutain e Renoux (1988) mostraram que a mistura argila, MO e saliva confere a estabilidade aos agregados dos térmitas. No horizonte Bw a ação da fauna é mais evidente pela diferença morfológica entre a estrutura microagregada típica

deste horizonte e as galerias, canais e cavidades, principalmente, galerias de térmitas com paredes bem definidas (Figura 4.5c), preenchidas ou não (Figura 4.4a, 4.5b) e os coprólitos de minhocoçu (Figura 4.7b). A mistura de materiais de cores bem diferentes, variando do marrom ao vermelho alaranjado, não deixa dúvida da ação da macrofauna (Apêndice A).

Os resultados das análises físicas foram homogêneos, nenhum valor diferiu significativamente quando comparadas as nove trincheiras. Neste Latossolo, a estruturação é estável. A questão levantada pelas observações é saber se a estabilidade pode ser promovida ou salientada pela ação dos térmitas e da fauna edáfica. Os valores de DMP e DMG estão em conformidade com os encontrados na literatura (2 a 4 mm e 2 a 5 mm, respectivamente), (OLIVEIRA et al., 2003; COSTA et al., 2003; CAMPOS et al., 1995). Numa primeira aproximação foi estabelecido que parte da estabilidade visualizada nos resultados de DMP e DMG é dada pelos restos de estruturas biológicas nas frações maiores. A distribuição do tamanho dos agregados, obtidos pelo teste de estabilidade, não apresentou correlação com a densidade do solo (D_s).

A observação dos agregados maiores oriundos do tamisamento a seco mostrou que eram restos de ninho, galerias de térmitas e coprólitos. A fração de maior proporção é $<0,84\text{mm}$, que caracteriza a forte microestruturação desses solos (VOLLAND-TUDURI et al., 2005); isto se deve ao arranjo solto do material solo e também a corrosão mecânica de agregados grossos no momento do peneiramento.

Embora a resistência à penetração tenha apresentado variações entre 0,55 e 3,93 MPa, os valores estão na média encontrados por Beutler et al., (2001); Tavares Filho et al. (2001); Ralisch et al. (2008). O valor de resistência superior a 2 MPa é utilizado na literatura como impeditivo para o crescimento radicular da maioria das culturas (TAYLOR et al., 1966; TORMENA et al., 1998, 1999; KLEIN, 2002). No entanto, a *Brachiaria brizantha* tem sistema radicular agressivo, e foram observadas raízes verticais e sem alterações físicas além de 100 cm de profundidade, principalmente passando por galerias de térmitas ou de minhocoçu. A densidade do solo é positivamente relacionada com a resistência do solo à penetração [$D_s=0,080$, $RP=0,766$; $r^2=0,891$, $n=8$; relação calculada para os valores médios de RP e de D_s por horizonte de 0 até 70 cm de profundidade], relação demonstrada anteriormente por Busscher (1990). Há homogeneidade dos dados de resistência à penetração para as diferentes distâncias dos ninhos de *Cornitermes cumulans*, não importando a distância do ninho ou direção da observação, inferindo que as camadas do solo são sempre trabalhadas e em um determinado momento o solo chega a um patamar de equilíbrio. Verifica-se também que a atividade faunística é sempre intensa.

Todo o perfil exibe uma estrutura microgranular fácil de ser observada no campo. Ela é comprovada na microscopia, onde foi possível verificar o tamanho das partículas, tipos e tamanhos dos poros, que sempre estão contornados por argila (Figura 4.5a), reforçando a idéia da contribuição dos térmitas na estruturação dos Latossolos (ESCHENBRENNER, 1986, 1988). Foram encontradas feições pedológicas advindas de atividade de térmitas até 3 m de profundidade (Figura 4.5d), reconhecidas pela cor, tamanho, constituição micromorfológica e presença do inseto (Apêndice C). Reatto et al., (2009) e Volland-Tuduri et al. (2005) relataram a presença de estruturas adensadas nos volumes microagregados do solo, e atribuíram sua origem a restos de construções biogênicas. Elas correspondem também às observações de microagregados ovóides dentro de volumes densos (ARNAUD, 1984; ESCHENBRENNER, 1986, 1988).

Os valores de Ds de 1,0 a 1,8 kg.dm⁻³, encontrados para os volumes de solo amostrado contendo as estruturas biológicas englobam os valores verificados nos perfis para as profundidades 0-10, 15-40 e >45cm de 0,9, 1,0 e 0,9 a 0,8 kg.dm⁻³, respectivamente. Na profundidade de 15 a 40 cm foi verificado maior atividade biológica e maior número de feições, onde se pode inferir que a densidade do solo corresponde a densidade das estruturas. Os térmitas prensam os grânulos de solo conferindo maior densidade, volumes de solo contendo feições de paredes de galerias de *Cornitermes cumulans* atingiram valores de Ds de 1,1 a 1,4 kg.dm⁻³. Medidas de densidade em cilindros preenchidos exclusivamente de estruturas de feições de excrementos de larvas de *Coleoptera Melolonthidae* atingiram 1,7 kg.dm⁻³. Os valores de Ds obtidos para áreas de solo solto contendo feições (grânulos de solo, coprólitos de minhocas, excrementos de *Apicotermes* e dejetos de formigas) foram ≥ 1 kg.dm⁻³, mesmo em camadas abaixo de 50 cm de profundidade (Tabela 4.4).

As estruturas de solo solto ao longo do perfil provem da homogeneização feita pelos térmitas que se movimentam em todas as direções carreando grânulos, principalmente agregados não alterados dos *Apicotermes* ou excrementos de *Cornitermes cumulans* (Figura 4.2f, 4.3, 4.4a.). A contribuição dos microagregados é visível na composição da fração < 0,84 mm quando do fracionamento a seco (Figura 4.8). Essa fração microagregada está positivamente relacionada com o inverso da densidade do solo 1/Ds [$r^2=0,243$ n=122], relação já demonstrada para outros Latossolos do Planalto Central por Volland-Tuduri et al., (2005). Infere-se que toda atividade faunística, concentrando e adensando materiais em estruturas, contribui para o aumento dos valores de Ds. O componente microagregado, estando integrado ou não na estrutura construída, já foi descrito e

relatado em trabalhos anteriores sem, contudo, reconhecer no campo a relação da atividade de uma espécie com sua estrutura.

Alguns microagregados coalescentes observados (Figura 4.5d) podem não resistirem, porém, quando se trata de microagregados estáveis, oriundos das paredes de ninhos e galerias de *Cornitermes cumulans*, esses podem fazer parte da microestruturação do solo por anos, tal como relatado por Lobry de Bruyn e Conacher (1990). Os microagregados nas paredes e no interior dos canais preenchidos, precoalescem pelos pontos de contato, pela decomposição e pela humificação gradual da MO (Figura 4.5a). Assim, formam uma massa de trama porosa, possibilitando identificar individualmente cada excremento, ou uma trama muito densa, onde é possível ver apenas alguns traços dos excrementos, reconhecidos pelas bordas amareladas, pelo capeamento de argila e cor diferente do solo adjacente, como relatado por Bullock et al. (1985).

Os bioporos são criados pela ação biológica da fauna, que retrabalha as estruturas pré-existentes e forma canais e alvéolos (Tabela 4.3 Figura 4.5b, 4.5d). Tais estruturas foram observadas em Latossolo sob basalto e atribuídas aos térmitas e formigas do gênero *Atta* (MIKLÓS, 1992). As paredes das galerias são formadas pela orientação da argila formando camadas estriadas (Figura 4.6c). A microestrutura estriada foi relatada por Lee e Wood (1971) e Sarcinelli et al. (2009) em ninhos de térmitas. É provável que esta microestrutura seja um fator de resistência mecânica do túnel como um todo; a película de revestimento de cor preta (Figura 4.6a e 4.6c) é apenas o resto de dejeções orgânicas pisoteadas durante o trânsito dos operários.

A bioturbação aqui comprovada vem depois de inúmeras sugestões da importância dos térmitas que desempenham um papel na formação de Latossolos, inicialmente feita por Erhart (1951), seguido por outros, salientando a importância dos térmitas para o desenvolvimento da estrutura granular em solos tropicais (SYS 1955; CAILLEUX, 1957; STOOPS, 1964; LEE; WOOD, 1971; BOYER, 1973; LEPAGE; MOREL; RESPLENDINO, 1974; ESCHENBRENNER, 1986, 1988; CORREA, 1989; TARDY; ROQUIN, 1992; MIKLÓS, 1992; LOBRY DE BRUYN; CONACHER, 1990, GARNIER-SILLAM; HARRY, 1995; JUNGRIUS; VAN DEN ANCKER; MÜCHER, 1999; NUNES; ARAUJO FILHO; MENEZES, 2009; SCHAEFER, 2001; REATTO et al., 2009; SARCINELLI et al., 2009).

4.7 CONCLUSÕES

Para o Latossolo Vermelho Amarelo estudado pode-se concluir que:

1. As descrições macro e micromorfológicas salientam o papel da fauna e, particularmente, dos térmitas, na diversidade de feições estruturais e microestruturais a mais de 2,5 m de profundidade.
2. As propriedades físicas do solo são influenciadas pela atividade da macrofauna observada, notadamente a densidade do solo.
3. É possível atribuir à ação dos térmitas, que homogeneízam as camadas do solo pela movimentação intensa em várias direções, a organização da microestrutura e o retrabalhamento de estruturas.
4. Os graus e tipos de microestrutura microgranular variam segundo a espécie e tipo de atividade.
5. No que se refere a atividade dos térmitas os *Cornitermes cumulans* parecem menos importantes que os *Apicotermes*, espécie mais discreta, mas que ocupa maior território e volume do solo estudado.



Foto: Parede de uma trincheira com grade para dissecação em área de pastagem cultivada, *Brachiaria brizantha* de 3 - 4 anos de idade.

**MACROMORFOLOGIA DE FEIÇÕES ESTRUTURAIS PRODUZIDAS POR
TÉRMITAS E A FAUNA EDÁFICA ASSOCIADA EM LATOSSOLO VERMELHO
AMARELO: IMPACTO NA POROSIDADE**

A macrofauna acarreta alterações da paisagem e mesmo modificações nas propriedades físicas e químicas do solo. Ao construírem suas galerias, transportam as partículas de diferentes profundidades do solo, causando mudanças na estrutura do solo.

O objetivo foi identificar, descrever e quantificar feições produzidas por térmitas e fauna edáfica associada em um Latossolo localizado no Planalto Central Brasileiro, cultivado com uma pastagem de 5 anos.

5 ARTIGO C: MACROMORFOLOGIA DE FEIÇÕES ESTRUTURAIS PRODUZIDAS POR TÉRMITAS E A FAUNA EDÁFICA ASSOCIADA EM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO: IMPACTO NA POROSIDADE

5.1 RESUMO E ABSTRACT

Os Latossolos brasileiros são caracterizados por apresentarem argila de baixa atividade, pouca diferenciação entre horizontes, macroestrutura fraca e estrutura microgranular bem desenvolvida. Essa forte microestruturação foi relatada como sendo possivelmente proveniente da atividade biológica, fato este, ainda não totalmente compreendido. O objetivo deste trabalho foi identificar, descrever e quantificar feições produzidas por térmitas e fauna edáfica associada, em um Latossolo do Planalto Central Brasileiro, cultivado com pastagem a 5 anos. Em uma área com *Cornitermes cumulans* quatro trincheiras foram dissecadas em fatias de 10 em 10 cm, até 1 m profundidade. Os volumes de solo dissecados apresentaram em média 0,90 m³ de solo revolvido por trincheira. As estruturas biológicas foram descritas e contabilizadas. Em todas as trincheiras foram encontradas e descritas nove tipos de feições, que representam a atividade dos térmitas e da fauna associada. Foram identificadas um total de 2435 câmaras, com densidade média de 8 a 11 câmaras.m⁻³, da superfície até 1 m de profundidade. A macroporosidade relacionada com pedoturbação representou um volume médio de 14,4 cm³ m⁻³ (dp = 37%). A atividade dos térmitas *Cornitermes cumulans* foi discreta, de 160 a 362 cm³.m⁻³ de solo revolvido, e o gênero *Apicotermes* visivelmente mais ativo, de 719-1306 cm³.m⁻³. Outros grupos tiveram atividades evidenciadas, como coleópteros com 1352 a 2672 cm³.m⁻³ e minhocaçu (Oligochaeta, Glossoscolecidae) que produzem estruturas densas representando de 40 a 110 kg.m⁻³ de solo revolvido. A porosidade total do solo medida nas trincheiras está relacionada a macroporosidade proveniente da pedoturbação. Todas as observações confirmaram uma pedoturbação faunal importante, resultando numa menor diferenciação dos horizontes. A presença de formigas foi discreta em relação aos térmitas, coleópteros e minhocas.

Palavras-chave: Micromorfologia. Propriedades físicas. Bioturbação. Bioma cerrado.

MORPHOLOGY OF STRUCTURAL FEATURES PRODUCED BY TERMITES AND THEIR ASSOCIATED SOIL FAUNA IN A LATOSOL: IMPACT ON POROSITY

Abstract

Brazilian Latosols are characterized by low activity clay, little horizon differentiation, a weak macrostructure and a strong microgranular structure. The development of the latter that was reported as being possibly related biological activity is still under discussion. The aim of this study is to describe and discuss the pedoturbating termites and faunal effect in a Latosol located in the Brazilian Central Plateau, cultivated with a 5 years pasture. In a group of 12

pits, 4 were selected in the area of *Cornitermes cumulans*, Cc, colonies and were dissected from 10 to 10 cm layers. The structure was studied in the field and samples from surface to 1m deep horizons. The volumes of dissected soil was 0,9 m³ each pit. Chambers, galleries, biological features were described, counted, located in space from the Cc mound, measured in volume, in surface. Nine types of principal features were found in all pits, representing the main termite and associated faunal activities. No effect of the Cc colonies was observed on the distribution and type of fauna activity. Ants were under represented compared to termite, coleoptera, and geophagous earthworms. A total of 2435 chambers were mapped. The mean density of chambers was 8 a 11 per m³ from surface to 1 m deep. The macroporosity related to pedoturbation represented a median volume of 14.4 dm³.m⁻³ (sd=37 %). The Cc activity appeared discrete from 160 to 362 cm³.m⁻³ soil, *Apicotermatinae* termite species have a significant effect from 719 to 1306 cm³.m⁻³ soil. Others groups like Coleoptera and a Glossoscolecidae earthworm have strong effect: the first one volume 1352 a 2672 cm³.m⁻³ and the second one produce high dense structures representing 40 a 110 kg.m⁻³. The macroporosity issued from pedoturbation was related to the values of total soil porosity measured in the pits. All of the observations confirmed that faunal pedoturbation had a greater effect on the little horizon differentiation.

Keywords: Soil fabric. Porosity. Bioturbation. Cerrado bioma.

5.2 INTRODUÇÃO

A manifestação mais visível da atividade biológica no solo é o reconhecimento de estruturas, de natureza, tamanho e constituições variadas. A influência da macrofauna nas propriedades do solo foi reconhecida desde o século XIX (como nos trabalhos de Darwin, 1896, com minhocas e Drummond, 1885, com térmitas). A macrofauna edáfica compreende os maiores invertebrados, organismos com mais que 10 mm de comprimento ou com mais de 2 mm de diâmetro corporal, como térmitas, formigas, minhocas, coleópteros em estado larval e adulto (ANDERSON; INGRAM 1993; WOLTERS, 2000; LAVELLE; SPAIN, 2001). Os térmitas, insetos sociais da Ordem Isoptera, super ordem Blattopteroides, criam estruturas tais como galerias, ninhos e câmaras, modificando as propriedades do solo onde vivem (BACHELIER, 1978). Esses acarretam alterações da paisagem e mesmo modificações nas propriedades físicas e químicas do solo (HOLT; LEPAGE, 2000), sendo apontados como um dos grupos de insetos mais adequados para monitoramento e análise de qualidade ambiental (BROWN JUNIOR, 1997).

Ao construir suas galerias, os térmitas transportam as partículas de diferentes profundidades do solo (BOYER 1956; MIEDEMA; VAN VUURE, 1977; JUNGRIUS; VAN DEN ANCKER; MÜCHER, 1999). O material acumulado nos ninhos epígeos é depois redistribuído pela erosão causando mudanças na microestrutura das camadas

superficiais do solo (LEE; WOOD, 1971; BLACK; OKWAKOL, 1997; JUNGERIUS; VAN DEN ANCKER; MÜCHER, 1999; SHAEFER, 2001; BROSSARD et al., 2007). Uma parte desses microagregados são excrementos enriquecidos de matéria orgânica e/ou saliva, o que os tornam estruturalmente estáveis (GARNIER-SILLAM; TOUTAIN; RENOUX, 1988).

Os térmitas exploram, sistematicamente em todas as direções, o ambiente em busca de alimento (REINHARD; HERTEL; KAIB, 1997), construindo uma rede de galerias sem tendência direcional (NOBRE; NUNES; BIGNELL, 2007). A movimentação da fauna favorece também à infiltração de água no solo, seja através de galerias ou estruturas acomodadas ao longo do perfil. É possível associar a presença dos térmitas ao aumento da infiltração, por observações e estimativas no campo (LÉONARD; RAJOT, 2001) ou através de modelos de simulação (LÉONARD; PERRIER; RAJOT, 2004), embora os resultados sejam variáveis (JANEAU; VALENTIN, 1987). Tamanho e distribuição dos ninhos, assim como volume de solo associado na superfície, são relatados com frequência (BACHELIER, 1978; OUEDRAOGO, 1997; SARCIANELLI et al., 2009), no entanto, pouco se sabe sobre o tamanho ou volume total de galerias dentro do volume do solo.

O objetivo deste trabalho foi identificar, descrever e quantificar feições produzidas por térmitas e a fauna edáfica associada, em um Latossolo Vermelho Amarelo, localizado no Planalto Central Brasileiro.

5.3 MATERIAL E MÉTODOS

5.3.1 Área de Estudo

O local de estudo é uma área de pastagem cultivada com *Brachiaria brizantha*, com cinco anos, localizada no Brasil Central, Planaltina – DF, (15°35'S, 47°42'W, 1.200 m altitude). A média pluviométrica anual é de 1.500 mm, sendo que 80% das chuvas ocorrem normalmente de novembro a abril. A temperatura média anual na área é de 26°C, o solo é um Latossolo Vermelho Amarelo (A moderado, textura argilosa) (EMBRAPA, 2006), Xanthic Ferralsol (IUSS, 2006), constituído por material de origem sedimentar do precambriano superior. Segundo Reatto et al. (2008) a mineralogia da fase argilosa é dominada por caulinita, gibbsita e goetita.

5.3.2 Metodologia de Dissecação do Perfil de solo e de Estruturas Biológicas

Ao redor de três ninhos epígeos de *Cornitermes cumulans* Nasutitermitinae, com idade de construção mínima e máxima de três e cinco anos, foram dissecadas quatro trincheiras. Os ninhos escolhidos tinham em média altura de 20 cm e perímetro basal de 29 cm. As quatro trincheiras foram abertas a 150 cm do ninho e dissecadas em fatias verticais de 10 em 10 cm de espessura, 100 cm de largura e 100 cm de profundidade, em direção ao ninho.

As dissecações ocorreram numa malha de 10 x 10 cm, num quadrado de 100 x 100 cm. Para cada fatia dissecada foram cartografadas e descritas as câmaras, cavidades, ninhos e os principais túneis localizando-as segundo as direções (norte (y+), sul (y-), leste (x+), oeste (x-)), profundidade (Hz), distância do ninho (D) e posição/profundidade na parede do perfil (Z), (Apêndice C). O volume das galerias, cavidades e câmaras foram calculados segundo fórmulas de geometria plana e espacial (GERÔNIMO; FRANCO, 2010). As estruturas biológicas encontradas foram descritas de acordo com Lemos e Santos (1996) (Apêndice C). A cor das feições foi definida em solo úmido utilizando-se a carta de Munsell.

Os parâmetros analisados foram: número de câmaras e outras estruturas construídas por volume de solo analisado; frequência das câmaras (número de vezes que aparece em função da profundidade e distância do ninho) (ESCHENBRENNER, 1994); tamanho e volume das câmaras, e volume de solo perturbado (STOOPS, 1964; LEPRUN, 1976; ESCHENBRENNER, 1994), os dados obtidos permitiram calcular a porosidade total do solo associada às feições observadas.

Também foram selecionados outros dois ninhos de *Cornitermes cumulans*, onde foram abertas seis trincheiras para quantificação do volume de massa de coprólitos de minhoca (Oligochaeta, Glossoscolecidae) (BROWN; FRAGOSO, 2007). As trincheiras foram dissecadas em camadas de 10 em 10 cm até 1 m de profundidade (Figura 4.1). O volume de solo de cada camada foi peneirado a 5 mm *in situ*, e a massa de estruturas advinda de coprólitos de minhoca contabilizada. Cada camada de 10 cm de espessura continha um volume de solo de 0,1 m³.

O N total e C total dos excrementos foram realizados por oxidação a seco pelo auto-analisador CHN (Analyzer CHN Fisons/Carlo Erba NA 2000).

5.4 RESULTADOS

5.4.1 Morfologia de Estruturas Reconhecidas de Térmitas e outras Feições de Origem Biológica

Nove tipos de feições, por serem abundantes, sistematicamente observadas e bem desenvolvidas nos volumes do solo, foram descritas. Algumas foram identificadas, juntamente com o inseto construtor, outras somente descritas, não sendo possível atribuir a uma espécie em particular. Essas feições estavam em sua maioria em profundidades superiores a 60 cm, com exceção dos coprólitos de minhocuçú, que apareceram por todo o volume de solo dissecado (de 0 a 100 cm de profundidade). Segue a descrição das principais estruturas observadas. Também foram descritos alguns excrementos que compõem parte considerável da camada 5-10 cm.

- A) Galeria de *Cornitermes cumulans*: $\varnothing=5$ a 7,5 mm, apresenta paredes bem definidas com revestimento escuro (uma fina camada de espessura 0,05-0,8 mm composta de uma mistura de matéria orgânica e argila). As galerias principais (vertical) servem para buscar água em profundidade, e neste trabalho foram avaliadas até 3 m, (Figura 5.1a). Há outras galerias de menor calibre, $\varnothing < 5$ mm, na horizontal e transversal, que são galerias de forrageamento.
- B) Galeria de coleópteros (Coleoptera Melolonthidae): $\varnothing=1$ cm, galerias que se estendem na vertical, horizontal e transversal até 1 m ou mais (Figura 5.1 c).
- C) Câmara preenchida com solo solto: ocupam uma área que varia de 10 a 370 cm², prolongam-se por mais de um metro na transversal ou horizontal. No interior há muito material orgânico e um aglomerado de raízes e galerias de *Apicotermes* com revestimento escuro bem definido de $\varnothing = \leq 0,7$ mm (Figura 5.3 a).
- D) Galerias finas de *Apicotermes*: $\varnothing=0,7$ a 19 mm, galerias que ramificam-se por toda a camada de 0-30 cm de profundidade, inclusive ao redor das cavidades de *Syntermes* sp1 (abaixo ou acima da parede densa) (Figura 5.1 b).
- F) Cavidades de *Syntermes* sp1: grandes cavidades ovaladas formando uma espécie de bolsa que variam de 5 x 10 a 5.5 x 17 cm com um piso de aspecto adensado (0,8 a 2 mm de espessura). A parede é formada por grânulos de solo fortemente cimentado, construída com solo da superfície e de camadas mais profundas de coloração amarela e vermelha. Apêndice C (Figura 5.2 a).

- G) Estrutura maciça, provavelmente velho coprólito de minhocaçu, tamanho médio de 4 x 3 x 3 cm, cor úmida 10YR 4/2 (castanho escuro acinzentado), aspecto de uma pasta de solo adensada seca e muito rígida ou coesa, composta de solo da superfície e de solo avermelhado encontrado abaixo de 1 m de profundidade (Figura 5.2 c).
- J) Volumes de solo escuro - cor úmida 10YR 3/4 (marrom escuro amarelado): volumes densos, não coesos, que se estendem ao longo do perfil (Figura 5.3 b).
- N) Estrutura arredondada de Ø=1 x 1,5 cm - câmara pupal do coleóptero (Coleoptera Melolonthidae): contruídas pela fêmea para dar abrigo à larva, parede adensada rugosa; quando abandonadas, no interior, havia sempre uma larva de vespa não identificada (Figura 5.2 d).
- Q) Coprólito de minhocaçu, cor úmida 10YR 4/4 (castanho escuro amarelado), 10YR 5/6 (marrom amarelado) e 10YR 6/6 (marrom), de formato cilíndrico e alongado, encontrados ao longo do perfil até 2 m; são mais visíveis na profundidade 60 - 90 cm, pelo contraste com a estrutura Bw (Figura 5.2 b).

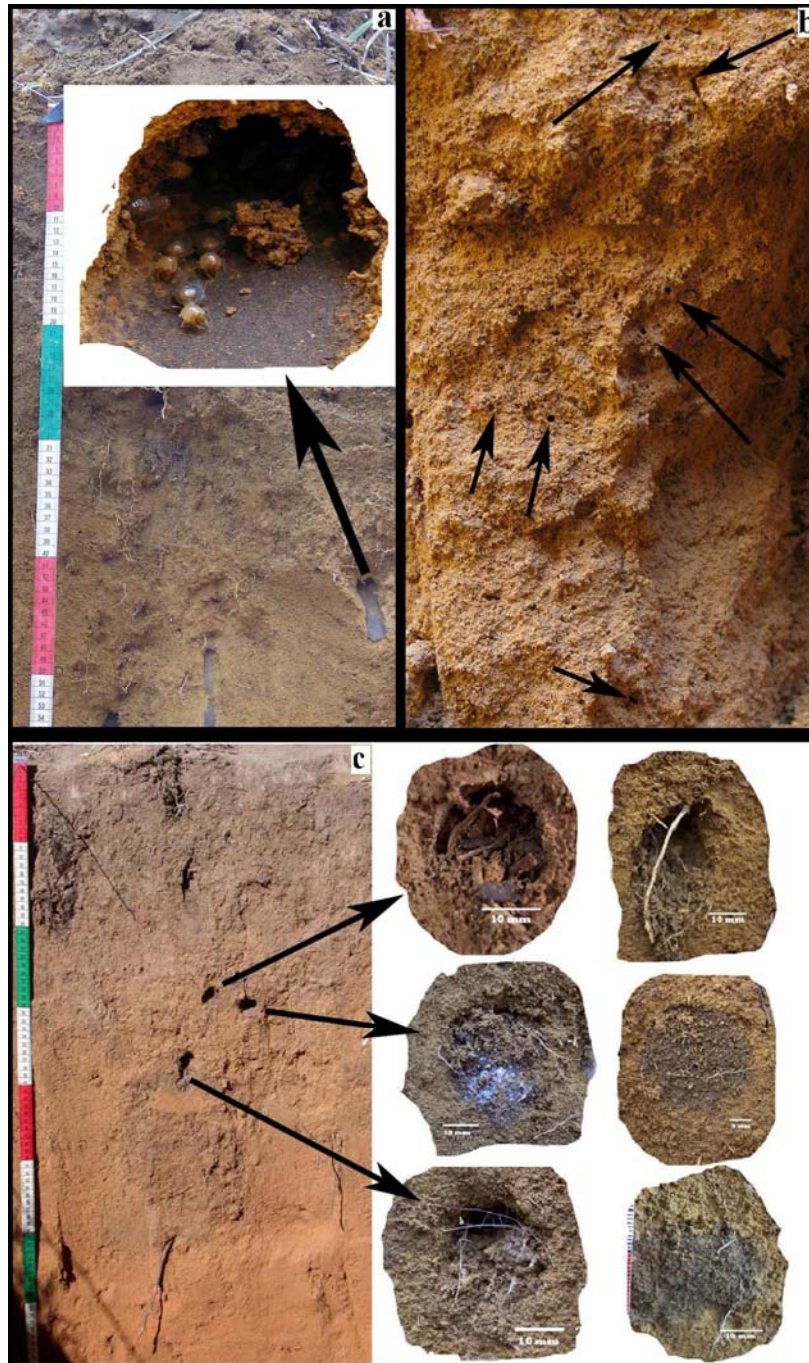


Figura 5.1 – Exemplos de galerias: a) Galeria de *Cornitermes cumulans*; b) Galerias finas de térmitas *Apicotermatinae*, seta indica as galerias; c) Galerias de coleópteros (Coleoptera Melolonthidae)

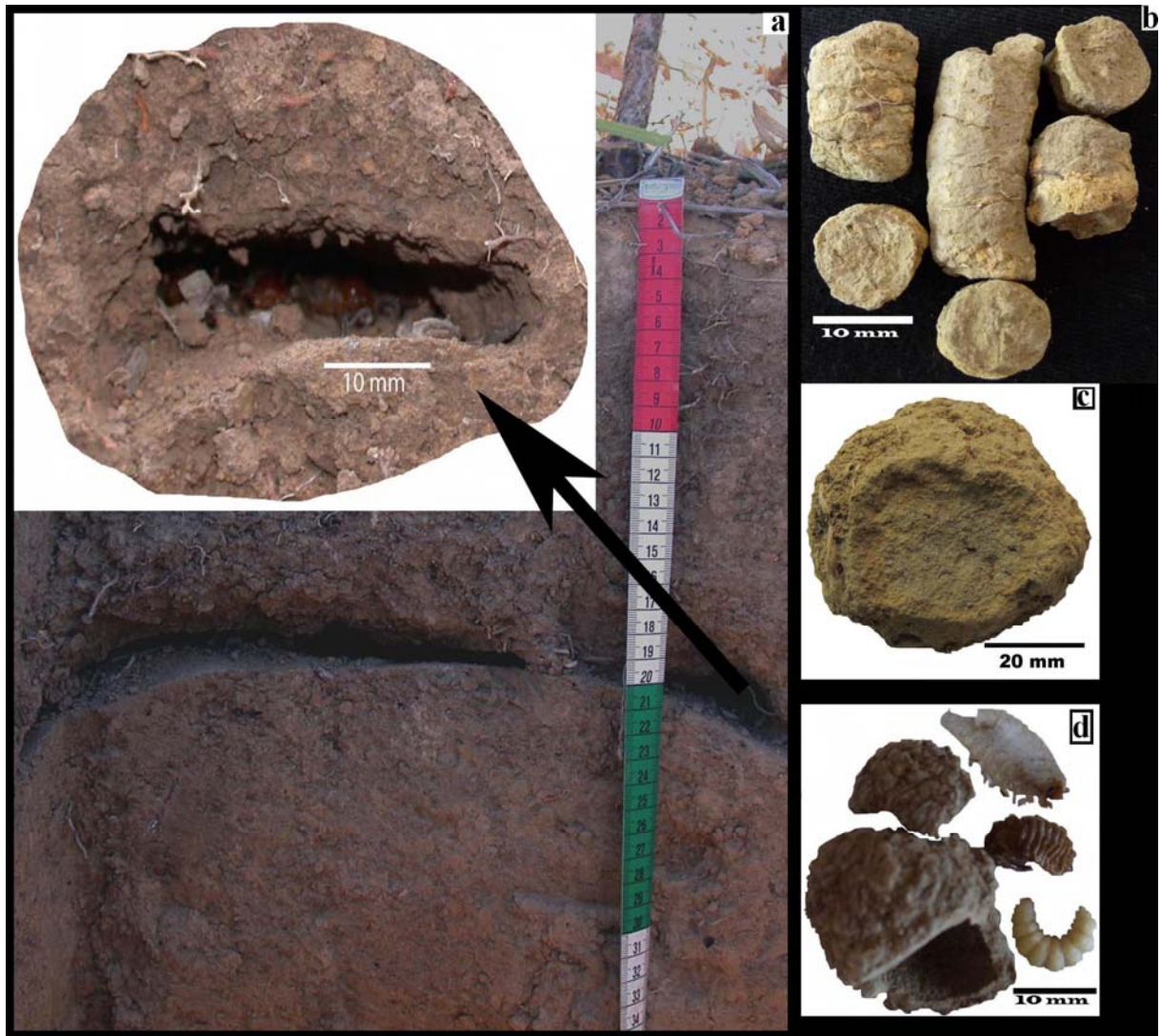


Figura 5.2 – Exemplos de feições: a) Galeria de térmita do gênero *Syntermes* sp1; b) Coprólitos de minhocoçu; c) Estrutura maciça; d) Câmara pupal de Coleoptera Melolonthidae, a direita e acima restos de larvas de coleóptero, a direita e abaixo uma larva de vespa.



Figura 5.3 – Outras feições: a) Câmara preenchida com solo solto, a seta indica galeria de *Apicotermes*; b) Volumes de solo escuro encontrados ao longo do perfil.

5.4.2 Distribuição de Feições Biológicas no Perfil.

A observação dos perfis permite constatar a presença de feições biológicas em todo o volume de solo dissecado, de 0 - 1 m de profundidade, sendo que, na camada de 0 a 20 cm a atividade é mais intensa e há maior diversidade da fauna (Tabela 5.1, Figura 5.1). As atividades em número de observações foram mais evidentes para as feições seguindo a ordem de grandeza: $D > N > B > C > A$; com intensa atividade de *Apicotermatinae*, feição D, em todo volume de solo, e mais notadamente na camada 10 - 20 cm; intensa atividade de coleópteros na fase larval e adulta, feições N e B, de 10 a 40 cm; e, atividade menos

expressiva de *Cornitermes cumulans*, feição A, ocorrendo somente até 40 cm (Tabela 5.1). As principais feições (excrementos) encontradas são apresentadas na Tabela 5.2.






As frequências das observações das feições em função da profundidade e distância do ninho mostraram que não houve efeito de distância do ninho de *Cornitermes cumulans*. Exceção feita para a estrutura F (*Syntermes spl*), cuja atividade foi observada somente a partir de 70 cm de distância do ninho de *Cornitermes cumulans*. Para as demais espécies observou-se atividade nas proximidades do ninho, embora, essas atividades sejam mais expressivas a partir de 30 cm do ninho (Tabela 5.1, Figura 5.4).

Tabela 5.1 – Localização e número total de feições biológicas por profundidade e distância do ninho, observadas em quatro trincheiras (150x100x100 cm).

Estrutura	Profundidade (cm)	Distância do ninho (cm)														
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120	130	140	150
A	0 - 10							2								
	10 - 20	1		1	1	1	3	1		1						
	20 - 40		1		2	1				1	1	1				
	40 - 100		1							1						
B	0 - 10	1		7	1	2		2	1	6	4	6	2	1		
	10 - 20		1	4	2	4	1	2	5	5	6	4	2	1		1
	20 - 40	1		13	9	9	3	8	8	16	10	8	1	1	1	8
	40 - 100	1				1			3	7	1	2				3
C	0 - 10															
	10 - 20								1							
	20 - 40			1		2	1	1					1			
	40 - 100	1		2	1	3		1	1	2	2	2				
D	0 - 10			10						30	36	36				
	10 - 20		8	59	41	125	55	35	35	87	86	56	52	12	40	20
	20 - 40	30	20	65	115	130	50	75	90	65	85	65	26	20	50	40
	40 - 100	6	8	48	23	46	15	38	20	38	38	28	15	10	10	10
E ⁺	20-40						1									
F	0 - 10														2	
	10 - 20								1			1	3	6	1	
	20 - 40								1		1	1				1
	40 - 100															
G ⁺	20-40			1												
H ⁺	20-40															30
I ⁺	20-40				1											
J	0 - 10															
	10 - 20				1								1			
	20 - 40			1	1	1	1	1								
	40 - 100				1			1								
K ⁺	20 - 40											1				
L ⁺	40-100	1														
N	0 - 10					1			2	2	1	1				
	10 - 20	1		2	1	2			1	3	2	2				1
	20 - 40				1			1	2							
	40 - 100					1				1						
O	0 - 10															
	10 - 20															
	20 - 40				3											
	40 - 100				4											
P	0 - 10	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	10 - 20	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	20 - 40									*						
	40 - 100															
Q	0 - 10	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	10 - 20	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	20 - 40	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	40 - 100	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

+ feições observadas uma só vez (E, G, H, I, K, L); * presença de feições não contabilizadas (P, Q); A) Galeria de *Cornitermes cumulans*; B) Galeria de coleóptero; C) Câmara preenchida com solo solto; D) Galerias finas de *Apicotermes*; E) Galeria não identificada; F) Cavidade de *Syntermes spl*; G) Estrutura maciça; H) Galeria de formiga; I) Ninho de *Nasutitermes*; J) Volume de solo escuro; K) Volume de solo escuro adensado; L) Bloco de solo avermelhado; N) Casulo de larva de coleóptero; O) Galeria *Nasutitermes spl*; P) Excremento de larva de coleóptero; Q) Coprólito de minhocaçu.

Tabela 5.2 - Principais feições biológicas amostradas na camada 0-40 cm (excrementos intactos).

Formas e características morfológicas das feições	Características físico-químicas das feições	Seção longitudinal	Origem
<u>Elipsóide</u> : achatado, ovalado, liso, composto de matéria orgânica, muito argiloso e rígido. Tam. 1 x 1 mm. Encontrado de 0 a 35 cm de profundidade. Cor úmida 10YR4/2 (castanho escuro acinzentado).	C total 23,87 g.kg ⁻¹ ; N total 1,30 g.kg ⁻¹ ; C/N 18,4, Ds 1,7 g.cm ³ .		Coró-das-pastagens (Coleóptera Melolonthidae)
<u>Cilindro ponado</u> : achatado, ovalado, liso, composto de material vegetal em decomposição, pouca argila. Tam. 7 x 3 mm. Encontrado de 0 a 35 cm de profundidade.	C total 67,17 g.kg ⁻¹ ; N total 2,71 g.kg ⁻¹ ; C/N 24,8.		Coró-das-pastagens (Coleóptera Melolonthidae)
<u>Esféricos</u> : Arredondado e liso, composto de matéria orgânica e argila. Tam. 0,1 a 1 mm. Encontrado ao longo de todo perfil.	C total 24,00 g.kg ⁻¹ ; N total 1,35 g.kg ⁻¹ ; C/N 17,8.		<i>Cornitermes cumulans</i>
<u>Cilíndricos</u> : por vezes elipsóide, esférico, achatado e liso, composto de matéria orgânica e argila. Tam. 0,1 a 1 mm. Encontrado de 0 a 15 cm de profundidade. Cor 2,5YR3/2 (bruno).	C total 39,00 g.kg ⁻¹ ; N total 2,1 g.kg ⁻¹ ; C/N 18.		<i>Ruptitermes</i> sp
<u>Tubular</u> : cilindro adensado, alongado, formado por pequenos discos. Ø = 5 a 35 mm. Encontrado ao longo de todo perfil. Cor úmida 10YR4/4 (castanho escuro amarelado)	C total e N total (em g.kg ⁻¹) e C/N: camada 0-10 cm: 1,33 / 25,15 / 19; camada 30->100 cm: 0,6 / 9,7 / 16.		Oligochaeta, Glossoscolecidae (minhocuçu)

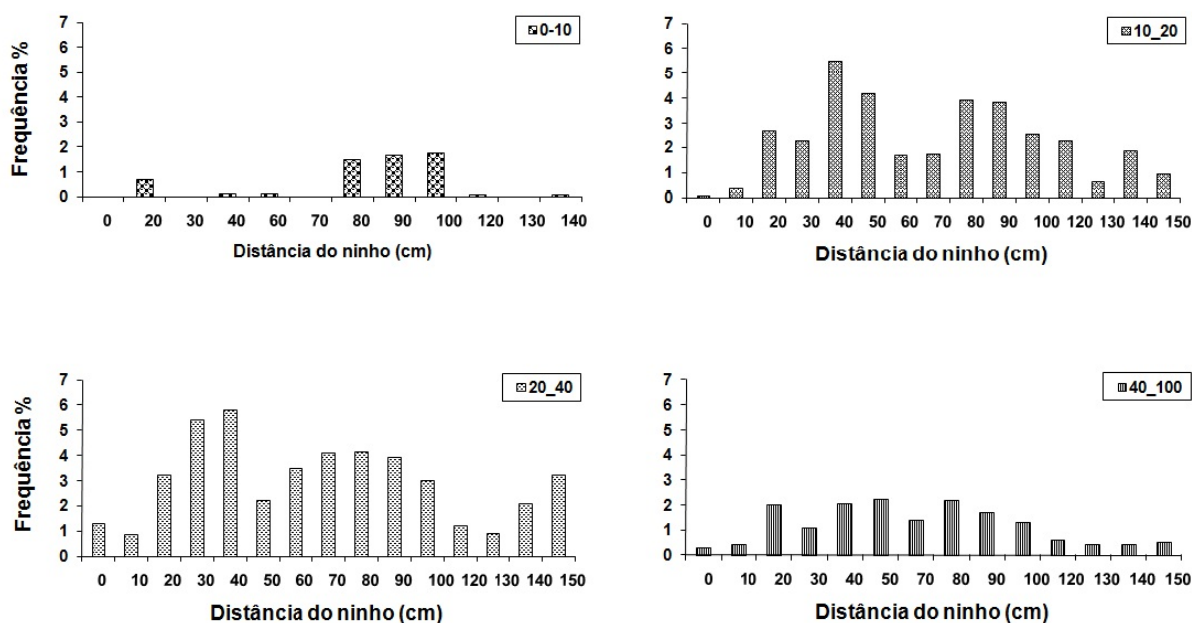
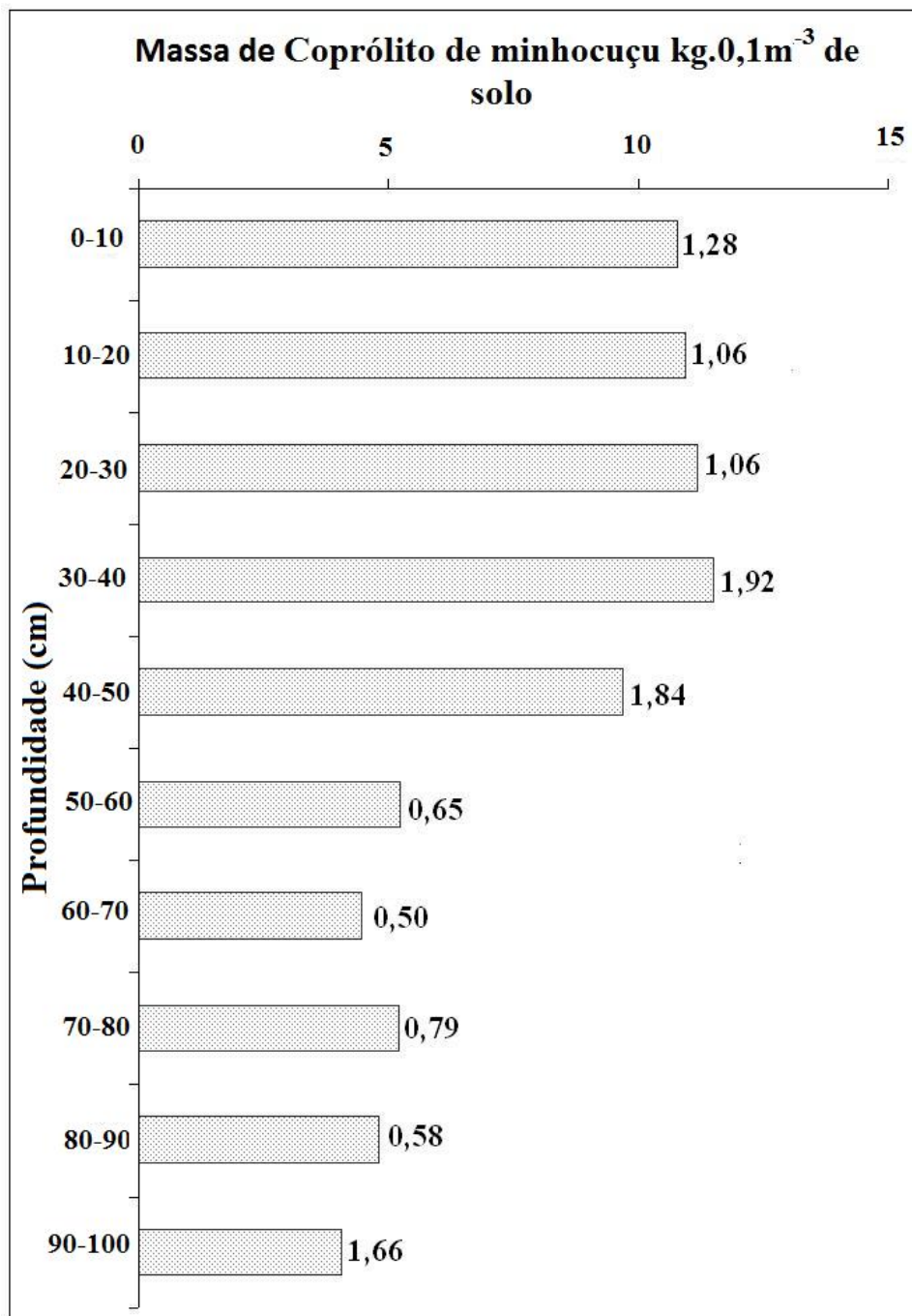


Figura 5.4 – Atividade da fauna: Frequência de observações de todas as feições, em percentagem do total, em função da profundidade e da distância do ninho de *Cornitermes cumulans*, em quatro trincheiras (150x100x100 cm) estudadas.

A fauna em conjunto revolve um grande volume de solo (Tabela 5.3). Foram descritas um total de 2435 câmaras com densidade variando de 8 a 11 câmaras por m^3 da superfície até 1 m de profundidade. A atividade de *Cornitermes cumulans*, feição A, com grandes galerias, aparece discreta, movimentando de 160,2 a 362,7 $\text{cm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ de solo, já os *Apicotermes*, feição D, com galerias finas e discretas, movimentam de 719,1 a 1305,9 $\text{cm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ de solo, criando macroporosidade. Merece destaque a atividade dos *Syntermes spl*, feição F, e do *Coleoptera Melolonthidae*, feição B, com várias galerias de grosso calibre (Apêndice C, Tabela 5.3). Dentre a macrofauna estudada, a feição Q (minhocuçu) se destaca das demais pela quantidade de solo trabalhado, de 4,6 a 10,78 $\text{kg} \cdot 0,1\text{m}^{-3}$, chegando a representar 0,1 % em massa de uma camada de solo de 0,1 m^3 (Figura 5.5, Tabela 5.3). Essas minhocas geórfagas mantêm uma atividade constante até 1 m de profundidade.



Os números ao lado da barra indicam o intervalo de confiança (n=59)

Figura 5.5 – Massa de solo revolvido pelo minhocucu até 100 cm de profundidade em kg por camada de 0,1 m de espessura

Tabela 5.3 – Macroporosidade oriunda da atividade da fauna em quatro trincheiras: Volume total de diferentes feições do solo trabalhado e mediana ($\text{cm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ de solo) até 100 cm de profundidade.

Feição	Trincheira 1	Trincheira 2	Trincheira 3	Trincheira 4	Mediana	CV %
A	0,0	362,3	160,2	282,1	221,1	78
B	1879,1	1352,0	2150,1	2672,3	2014,6	27
C	14444,4	5166,7	7687,5	10253,3	8970,4	42
D	719,1	764,8	972,7	1305,9	868,7	28
N	188,4	1130,4	353,3	1224,6	741,8	73
F	0,0	166,7	0,0	5269,1	83,3	192
O	0,2	0,0	0,0	0,4	0,1	131
P	117,2	267,9	125,6	234,5	180,0	41
Σ	17348,5	9210,7	11449,3	21242,1	14398,9	37

A) Galeria de *Cornitermes cumulans*; B) Galeria de coleóptero; C) Câmara preenchida com solo solto; D) Galerias desconhecidas (*Apicotermiinae*); N) Casulo de larva de coleóptero; F) Cavidade de *Syntermes spl*; O) Galeria de *Nasutitermes spl*; P) Excremento de larva de coleóptero; Σ) soma

5.5 DISCUSSÃO

Neste estudo foi enfatizado a diversidade, os principais tipos de feições e agregados observados de acordo com cada inseto associado e outros organismos (minhocuçu). De fato, eles constroem feições variadas com material oriundo de diversas partes do solo. Porém, é preciso levar em consideração que há uma ação global da atividade biológica no volume total do solo, onde os organismos trabalham em conjunto ou separadamente, mas sem que as atividades cessem. Esse conjunto de atividades infere globalmente nos valores de densidade do solo e da macroporosidade. Dentre as observações, constatou-se que a presença de formigas foi discreta, ou mesmo ausente em alguns casos, e quando encontradas estavam relacionadas às câmaras contendo solo solto e eram de espécies muito pequenas, não identificadas. Os excrementos observados ao longo do perfil, principalmente na camada de 0 a 40 cm, compõem partes consideráveis das feições do solo, refletindo a intensa atividade da fauna do solo e as condições do meio.

Inicialmente, as atenções estavam voltadas para *C. cumulans*, que finalmente teve suas atividades abaixo das expectativas. A atividade de *Cornitermes cumulans* é discreta, confirmando observações feitas no artigo anterior. Em cada ninho foram observadas de 2 a 4 galerias de grosso calibre (10 mm) que descem em profundidade

(Apêndice C), porém, em um dado momento, elas se unem ou são abandonadas, restando uma única. Lee; Su; Lee (2009) mostraram, em laboratório, que os térmitas podem restringir o número de túneis que eles constroem para aumentar a eficiência de transporte de comida; contudo, a campo, algumas espécies podem atingir até 55 m de profundidade (LEPAGE; MOREL; RESPLENDINO, 1974). Outras galerias, de menor diâmetro ($\varnothing=0,05-3$ mm), formando uma rede essencialmente horizontal, que serve para forrageamento, são observadas. Elas dão origem a alvéolos interligados em diferentes direções horizontais e verticais; as horizontais são mais frequentes nas camadas 10-40 cm e podem se estender a mais de 9 m do ninho. Encontraram-se, também, galerias recém formadas de *Cornitermes cumulans*, que não tem paredes definidas.

As galerias de Coleóptera Melolonthidae, ($\varnothing=1$ cm) são abundantes. Se estendem na vertical, horizontal e transversal até 1 m ou mais de profundidade, estão vazias ou preenchidas, total ou parcialmente, com agregados arredondados (de 0,1-0,5 mm) ou solo solto retrabalhado por térmitas. Outras galerias de coleópteros estão preenchidas com fezes bovinas (preenchimento denso completo), fresca ou em decomposição; as preenchidas com fezes em decomposição contêm em seu interior galerias finas ($\varnothing=0,05-0,5$ mm) de térmitas, bem estruturadas, frágeis, formadas por pequenos agregados moldados sem indício de cimentação com excremento líquido, ao contrário de outras galerias e dos ninhos na superfície que são bem cimentados e rígidos. Rosa et al. (2008) estudou a interação entre a larva de *Coleóptera Melolonthidae* e *Cornitermes cumulans*, não encontrando interação negativa. Neste trabalho verificou-se que, de certa forma, esta interação favorece o *C. cumulans*, que retrabalha excrementos de larva de *Coleóptera* que são argilosos e ricos em MO (Tabela 5.2), essencial para construção dos ninhos epígeos.

As câmaras mais escuras com solo solto são preenchidas com material orgânico, raízes e galerias ($\varnothing=0,5$ mm a $<0,5$ mm). Essas galerias têm paredes escuras e bem definidas e são visíveis a olho nu. Nas câmaras encontram-se também agregados arredondados (0,1 a 2 mm), lisos ou rugosos, possivelmente provenientes da atividade de térmitas (*Apicotermatinae*) e formigas, uma vez que ambos foram encontrados no local. Também se observou a presença de faixas escuras, densas, não coesas, associadas com as câmaras preenchidas com solo solto, possibilitando inferir que com o passar do tempo as câmaras vão sendo retrabalhadas e o solo retoma seu estado estruturado. Numa primeira hipótese consideramos que as faixas escuras são volumes remanescentes de antigas raízes completamente decompostas e humificadas da vegetação de cerrado.

As cavidades de *Syntermes* sp1 são bem visíveis pelo seu tamanho, são câmaras horizontais interligadas por galerias mais finas (0,5 x 1cm); e, quando verticais, são galerias que servem para ir até a superfície em busca de alimento (GRASSÉ, 1984) (Apêndice C). Ao redor dessas cavidades observam-se galerias de Apicotermatinae, ao longo de toda a borda externa. Os *Syntermes* sp1 mantêm suas atividades até 60 cm de profundidade (Tabela 5.1). Não foram observados ninhos bem definidos para esta espécie de *Syntermes* sp1.

Considerando o volume total de solo retrabalhado calculado, mediana de 14398,9 cm³.m⁻³, (Tabela 5.3), pode-se considerar que este é um patamar baixo, dado que partes de volume de solo, galerias e mesmo solo retrabalhado, não pode ser totalmente avaliado, pois a metodologia é destrutiva. Quando observado o valor de CV 37% (Tabela 5.3), considera-se que os dados são satisfatórios, reforçando a importância de estudar a fauna em conjunto. Esses resultados indicam que o solo está sendo sempre retrabalhado.

A relação da porosidade total do solo com a porosidade produzida pela atividade da fauna mostrou uma relação positiva; ($P_t(\%) = 0,0007[\sum P_{fauna} \text{ cm}^3.\text{m}^{-3}] + 60,935$ com $n = 112$ e $R^2 = 0,589$). A porosidade total avaliada pela análise clássica da amostragem do anel volumétrico (1300 cm³) apresenta valores médios de 60 a 70 %, homogêneos ao longo do perfil. Já a porosidade faunal avaliada individualmente para cada espécie, é variada e tem valores mais elevados.

A massa de coprólitos de minhocucu apresentou uma relação positiva com a estabilidade de agregados a seco e a densidade do solo (Figuras 5.5, 4.8 e 4.9a). Na camada 10-40 cm foi registrado o maior valor de Ds e a maior proporção de agregados retidos nas peneiras 4 e 2 mm, e também apresentou maior massa de coprólitos. Vale ressaltar ainda que, os volumes densos, aqui descritos como a feição G, embora não contabilizados, estão espalhados ao longo do perfil, contribuem para as variações dos valores da resistência à penetração apresentados no capítulo anterior (Figura 4.9 b).

Todas as observações confirmaram uma pedoturbação importante, efeito este que caracteriza um fenômeno biológico capaz de homogeneizar as camadas do solo, resultando em menor diferenciação dos horizontes.

5.6 CONCLUSÕES

1. As observações e avaliações permitem afirmar que os térmitas desempenham um papel importante no revolvimento e homogeneização dos horizontes do solo. Além de construírem montículos espetaculares, constroem volumosas galerias, que aumentam a porosidade do solo.
2. O volume mediano de macroporosidade calculado para uma área de pastagem cultivada de 5 anos foi de $14,4 \text{ dm}^3/\text{m}^3$ (CV=37 %) de solo até a profundidade de 1m.
3. Além de *Cornitermes cumulans* várias espécies da macrofauna edáfica ocupam o mesmo espaço no solo, mas em suas atividades respeitam os territórios umas das outras.
4. As atividades de formigas foram discretas ou quase nulas, foram encontradas algumas espécies, muito pequenas e não foram identificadas.
5. A macroporosidade e a porosidade total do solo são influenciadas positivamente pela atividade da fauna do solo.
6. Este trabalho evidenciou a influência biológica nas propriedades físicas do solo e a importância de relacionar possíveis evoluções físicas do solo com as atividades da macrofauna do solo.

6 ARTIGO D: ANÁLISE DA ATIVIDADE DE COLÔNIAS DE TÉRMITAS SOBRE ESTRUTURAS EDÁFICAS MACRO E MICROAGREGADAS EM CASA DE VEGETAÇÃO

6.1 RESUMO E ABSTRACT

O objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto de térmitas em estruturas oriundas de um Latossolo Vermelho Amarelo. O experimento foi realizado em ambiente controlado com ninhos em atividade de *Cornitermes cumulans* coletados a campo e mantidos em vasos em casa de vegetação por nove meses. As estruturas utilizadas no experimento foram macroestruturas densas, oriundas de “minhocuçu” e estrutura granular de um horizonte Bw3 vermelho da base do mesmo solo. O experimento foi realizado com duas repetições para cada estrutura, sendo cada repetição composta de um vaso com estrutura, ninho e alimento, e um vaso com estrutura e alimentação. As estruturas fabricadas pelos térmitas foram descritas macro e micromorfológicamente e comparadas com amostras coletadas no campo, também se verificou a distribuição das galerias. Os térmitas mantiveram as atividades de forrageamento e construção do ninho, até o final do experimento, com algumas restrições. Para os vasos com estruturas densas a atividade foi idêntica, tanto no vaso onde havia o ninho quanto no vaso com alimentação. Para os vasos com estrutura granular a atividade foram baixa no vaso onde havia o ninho e no vaso com alimentação e, embora continuasse a movimentação dos indivíduos não se observou atividades de fabricação de estruturas neste último. Nas estruturas construídas, as partículas de solo são orientadas, formando uma parede rígida, como observado em feições coletadas no campo. Assim, foi constatado que os térmitas retrabalham estruturas deixadas por eles ou outros invertebrados do solo, criando microestrutura e re-agregando o solo.

Palavras chaves: Termitária. Estrutura do solo. Micromorfologia. Porosidade. Pedoturbação.

ANALYSIS OF TERMITES COLONIES ACTIVITY IN CONTROLLED CONDITIONS ON MACRO AND MICRO-AGGREGATED SOIL STRUCTURES

Abstract

The aim of this paper is to present the termite impact on sampled soil structures during a controlled experiment. The structures used were sampled in a red yellow Latosol. The *Cornitermes cumulans* colonies were sampled in the same site and were maintained in controlled conditions during 9 months. Two types of structures were tested: dense macrostructures and a strong granular structure. Two replicates of the conceptual termite-structure model were developed. Macro and micromorphological descriptions were done, the

distribution and localization of galleries were described and compared with those sampled at field. The termites colonies maintained their exploring and construction activities, during the period, with some restrictions. In the experimental model with dense macrostructures the activities were important and equivalent in all of the volumes. But, in the experimental model with the strong granular structure the activities were essentially done in the volumes with the mounds. The new structures showed oriented soil particles, as there were observed in field soil samples, in particular in dense structured galleries walls. It was clear that the termites transformed structures offered, and that there created new microstructures and aggregates.

Keywords: Termitaria. Soil structure. Micromorphology. Porosity. Pedoturbation.

6.2 INTRODUÇÃO

Os térmitas (Isoptera: Termitidea) criam estruturas biogênicas (galerias, ninhos, câmaras, aterros etc) que tem um efeito significativo sobre o ambiente em que vivem. As modificações mais visíveis são observadas nos atributos físicos do solo através da seleção, transporte e reorganização das partículas. A importância dos térmitas nas propriedades dos solos está intimamente relacionada com suas atividades de construção.

Os térmitas tem influência na estruturação do solo, na decomposição de resíduos vegetais e na disponibilidade de nutrientes, estimulando a atividade microbiana (DEBRUYN; CONACHER, 1995; LAVELLE et al., 1997). Por meio de suas ações mecânicas modificam a estabilidade de agregados, segundo as condições ecológicas onde se encontram (GARNIER-SILLAM et al., 1988) e podem proteger parte da matéria orgânica de uma mineralização rápida (LAVELLE; SPAIN, 2001; DECÄENS et al., 2003). A modificação dos materiais do solo pelos térmitas se dá pela deposição de compostos orgânicos, saliva e fezes durante a construção dos ninhos (BIGNELL, 2006). Notadamente, os valores de parâmetros químicos, aparecem em geral, mais elevados nos ninhos que no solo adjacente, como C, N e P, que são integrados nas estruturas organo-minerais (BROSSARD et al., 2007; LÓPEZ-HERNÁNDEZ et al., 2006; LÓPEZ-HERNÁNDEZ, 2001).

De maneira geral, é reconhecido que a regulação das atividades de construção e escavação de térmitas e formigas é dependente de processos complexos ligados a parâmetros ambientais e físicos (GRASSÉ, 1959; BONABEAU et al., 1998; CAMAZINE et al., 2001; FOURCASSIÉ ; OLIVEIRA, 2002; THERAULAZ et al., 1998; THERAULAZ et al., 2003). Desde os trabalhos de Goldberg (1974), sabe-se que os térmitas podem responder experimentalmente à adaptação ambiental. Criações de colônias de térmitas sul-americanos já foram realizadas com sucesso por Torales, (1979). Para conhecer a interação entre as

atividades dos térmitas e o estado estrutural do solo é necessário analisar os impactos da colônia dentro do seu ambiente físico. No entanto, experimentos de campo com esta abordagem são complexos e onerosos. As observações *in vitro* das funções escavadoras, construção de terraços, da gênese da porosidade ou da formação de microagregados são escassas e devem ser comparadas às estruturas provenientes de observações feitas no campo.

Este experimento teve como objetivo a análise do comportamento dos térmitas em um ambiente perturbado. O modelo experimental é a espécie *Cornitermes cumulans* (Isoptera, Nasutitermitinae), introduzida em colônias completas, associada a estruturas oriundas de um Latossolo Vermelho Amarelo. Os primeiros ensaios mostraram o interesse dessa espécie (BENITO et al., 2008). A espécie *C. cumulans* é uma das mais estudadas, chegando a ser considerada como uma espécie-chave, “keystone species” (REDFORD, 1984). Neste experimento foram testados dois tipos de volumes estruturais encontrados no campo: microagregados soltos, ou seja, a estrutura forte granular característica de horizontes “B latossólico”, e estruturas densas, provenientes da atividade de uma minhoca tipo “minhocuçu” (minhocas com comprimento geralmente >30 cm e diâmetro de ≈ 1 cm ou mais, (BROWN; JAMES, 2007). Dado o diâmetro do corpo, os coprólitos de minhocuçu se apresentam no solo como galerias tubulares preenchidas pelas dejeções, elas perduram muito tempo no solo e apresentam uma massa volumétrica superior ao solo na qual se encontram. Estas estruturas foram escolhidas por ser densas, fácil de separar do solo em grandes quantidades. Nos dois tratamentos se observou que as colônias organizaram e reestruturaram o volume de solo ofertado, e quais foram as transformações morfológicas. As estruturas e microestruturas produzidas em condições padronizadas foram comparadas as observações feitas no campo.

6.3 MATERIAL E MÉTODOS

Os ninhos em atividade de *Cornitermes cumulans* (Isoptera, Nasutitermitinae) foram coletados em uma área de pastagem cultivada com 5 anos de idade, em um Latossolo Vermelho Amarelo. Os seis ninhos eram recentes e de diâmetro entre 17 e 24 cm e altura de 15 cm. O experimento foi conduzido durante nove meses, entre janeiro e outubro de 2008, em casa de vegetação (Embrapa Cerrados, DF). As temperaturas diurnas oscilaram de 28 a 32°C e as noturnas se mantiveram em média em 18°C.

As estruturas do solo utilizadas associadas às colônias provêm do mesmo local onde as colônias de térmitas foram coletadas. As estruturas de coprólitos de minhocoçu foram coletadas sistematicamente em trincheiras em camadas de 10 em 10 cm até 1 m de profundidade; o volume do solo foi peneirado a 5 mm *in situ*, e as estruturas separadas e secas ao ar. A estrutura granular forte do horizonte Bw3 vermelho foi coletada a 3 metros de profundidade e seca ao ar. Esta estrutura foi utilizada sem ser peneirada, apenas homogeneizada. A Tabela 1 apresenta as principais características das duas estruturas utilizadas. As estruturas densas de coprólitos de “minhocuçu” tem diâmetro de 5 a 35 mm e densidade aparente média Da de 1,4 g cm⁻³.

Tabela 6.1 – Principais características físicas e químicas das estruturas utilizadas

		Estrutura granular	Estrutura densa
Cor seca	(Munsell)	5 YR5/8	10YR 4/4, 10YR 5/6, e 10YR 6/6
Dp	g cm ⁻³	2,72	nd
Da*	--	0,91/0,02 (n=4)	1,35/0,04 (n=6)
Argila	g kg ⁻¹	770	670
Silte	--	90	175
Areia	--	140	213
CO	--	0,02	10,30 a 26,28
pH KCl		6,1	nd
CTC	Cmol ⁺ kg ⁻¹	1,53	nd

Metodologias (Embrapa, 1997): Dp= densidade de partícula, picnômetro; Da= densidade aparente, cilindro no solo e massa volumétrica em água para estrutura densa; Argila, silte e areia, pipeta; CO, carbono orgânico oxidação pelo bicromato; CTC, extrator Ca(CH₃COO)₂ e CH₃COOH a pH 7,0; nd: não determinado; *média e erro padrão

O experimento de manutenção das colônias foi montado conforme Benito et al. (2008), com vasos de PVC de 45 litros, 41 cm de altura, 43 cm de diâmetro na borda e 29 cm na base. Em cada vaso foram feitos orifícios laterais de 3 cm para o encaixe de mangueiras de PVC transparente (Figura 1). A mangueira B liga o vaso A onde se encontra a colônia, mais parte da alimentação, com o vaso C, somente com alimentação.

Para cada estrutura de solo testada foram feitas duas repetições (cada repetição constou de um conjunto de dois vasos), sendo utilizada a mesma estrutura no vaso onde foi colocado o ninho e no que foi utilizado somente para alimentação da colônia. Para alimentação das colônias foi fornecido palha de espiga de milho e fezes bovina colocadas na superfície, no vaso A e no vaso C. No final do experimento, foram dissecados 4 conjuntos de

vasos com material denso, 2 da camada 0-10 cm e 2 da camada 30-100 cm do solo, e 2 conjuntos de vasos com material granular do Bw3.

O fornecimento de água foi realizado por um tubo de PVC de 70 cm de altura com 5 cm de diâmetro tendo uma cápsula porosa na extremidade dentro do solo (n° 653X02B1M3, Soil Moisture Equipment Corp, USA, modelo B01M3, com diâmetro de poro entre 1 a 2 μm) e aberto na extremidade superior. Um tubo foi introduzido em cada vaso ficando a cápsula porosa entre 2 a 3 cm do fundo do vaso. A cápsula porosa permite o fornecimento de água sem saturar o solo. A água foi fornecida de maneira a manter o solo na capacidade de campo.

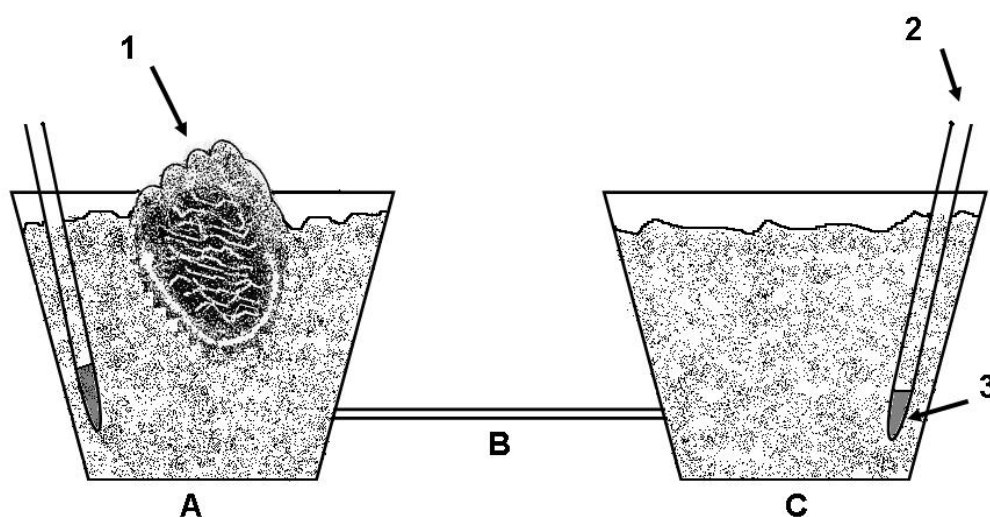


Figura 6.1 – Esquema de manutenção de colônias de térmitas em condições controladas. A) vaso com solo, ninho e alimento; B) mangueira transparente para conexão entre os vasos; C) vaso para alimentação; 1) Ninho de *Cornitermes cumulans*; 2) Tubo de PVC para fornecimento de água; 3) cápsula porosa.

Depois de nove meses os vasos foram dissecados como segue: A cada 5 cm de espessura foi retirado, cuidadosamente para não destruir as estruturas, uma porção circular do vaso. As estruturas foram descritas e amostradas nos vasos e nas mangueiras para micromorfologia e comparação com amostras coletadas no campo.

Para quantificar o teor de C total e N total foram selecionados no campo três tipos de amostras densas oriundas de diferentes camadas do solo. As determinações de N total e C total foram realizadas por oxidação a seco pelo auto-analisador CHN (Analyzer CHN Fisons/Carlo Erba NA 2000). Esses dados foram utilizados para comparar com duas amostras dos vasos, como segue: 1) coprólitos oriundos da camada 0-10 cm (campo); 2) coprólitos da

camada 30-100 cm (campo); 3) coprólitos da camada > 100 cm (campo); 4) coprólitos da camada 0-10 cm retrabalhados por *C. cumulans* (vaso); 5) coprólitos da camada > 30 cm retrabalhados por *C. cumulans* (vaso).

6.4 RESULTADO E DISCUSSÃO

6.4.1 Modelo Experimental Com Volumes Macroestruturais Densos (Coprólitos de Minhocoçu)

As colônias mantiveram as atividades de forrageamento e construção do ninho até o final do experimento. Nos vasos A que continham os ninhos a atividade foi intensa para todas as camadas. Fato também observado nos vasos de forrageamento (C). Houve expansão do ninho de *C. cumulans* (Figura 2). Foi observado a construção de um espaço vazio de 10 mm entre o volume de estruturas densas dentro do vaso e a câmara celulósica, (Figura 2.d). Esse espaço vazio é a bolsa de manutenção climática refeita pelos térmitas. No campo, esta bolsa é a paraécia (GRASSÉ, 1984), espaço que existe entre o ninho e o solo que o circunda destinado à manutenção de umidade e temperatura constantes no interior do ninho. As paredes das paraécias nos experimentos, localizadas na base dos ninhos, eram menos rígidas que aquelas observadas no campo.

Ao retirar o material utilizado para alimentação, nos vasos C, verificou-se que os coprólitos tinham sido parcialmente ou completamente retrabalhados, dando origem a uma estrutura granular forte a fina, composta de excrementos de *C. cumulans* e restos das estruturas densas (Figura 3). Não importando a profundidade de origem no solo dos coprólitos (vaso A e vaso C), as estruturas densas foram utilizadas pelos térmitas para novas construções. Os coprólitos que ainda restaram estavam cobertos por excremento de térmitas formando pequenos pontos escuros, em alguns casos formando um reboco de cor preta (Figura 3).

Atividade	Observações de macroestrutura	Observações de microestrutura
Escavação: transporte de agregados do solo	Grânulos livres, com contornos bem definido, preenchimento de galerias	Microagregados coalescentes, arredondados e grânulos livres, arredondados, lisos
Construções: galerias e paredes, expansão do ninho, poros		



Figura 6.2 – Modelo experimental com volumes macroestruturais densos submetidos à atividade de térmitas *Cornitermes cumulans*: a) Ninho no início do experimento; b) e c) Ninhos no final do experimento; d) Detalhe do espaço vazio entre o solo e a câmara celulósica (vista de cima).



Figura 6.3 – Efeito da atividade de *Cornitermes cumulans* nos volumes macroestruturais densos (coprólitos de “minhocuçu”). a) na parte baixa, as estruturas em estado inicial antes do experimento e, acima, diferentes estados de dismantelamento pelos térmitas; b) restos de estrutura densa e agregados diversos após o término do experimento.

O volume dos vasos foi dissecado e permitiu verificar que os térmitas constroem galerias que circundam o vaso da superfície até fundo em todas as direções, explorando todo o volume. Essas galerias foram construídas entre as macroestruturas densas, tinham paredes frágeis, mas, bem definidas, feitas somente com excremento de cor preta, não

sendo observado o adensamento com argila, como no campo. Nenhuma tendência direcional para construção dos túneis foi observada, uma vez que o recurso trófico se encontrava no vaso A e no vaso C, confirmando as observações feitas por Nobre et al., (2007) que estudaram a geometria dos túneis de *Reticulitermes grassei* (Rhinotermitidae) em laboratório.

6.4.2 Modelo Experimental Com Estrutura Granular Forte (Horizonte Bw3 do Solo)

Nos vasos com o material da camada Bw3 as colônias tiveram atividade reduzida em comparação ao tratamento com estruturas densas. Não se observou atividade de construção nem tampouco material retrabalhado, verificando-se, apenas movimentação dos térmitas, mas sem continuidade. Em uma das repetições observou-se a construção de uma galeria dentro da mangueira B. No vaso A, a atividade foi fraca e no vaso C, muito fraca constando somente do percurso até a alimentação.

6.4.3 Novas Construções de Galerias e Estruturas em todos os Vasos

No caso das estruturas densas de “minhocuçu”, dentro da mangueira B que liga os dois vasos, foi possível observar a construção de uma galeria, já no primeiro mês do experimento, com parede espessa e resistente, chegando a 10 mm de espessura (Figura 4). Estas estruturas eram compostas de uma mistura de partículas diversas (Figura 5a) idênticas àquelas identificadas no campo (Figura 5b).

Embaixo do ninho os térmitas construíram algumas feições bem rígidas, que permitem delimitar porções de galerias entre as estruturas densas, onde se observaram canais de preenchimento idênticos aos encontrados nas amostras coletadas no campo (Figura 5c). Este fato foi observado tanto em vaso com as estruturas densas como em vasos com solo estruturado do Bw3.

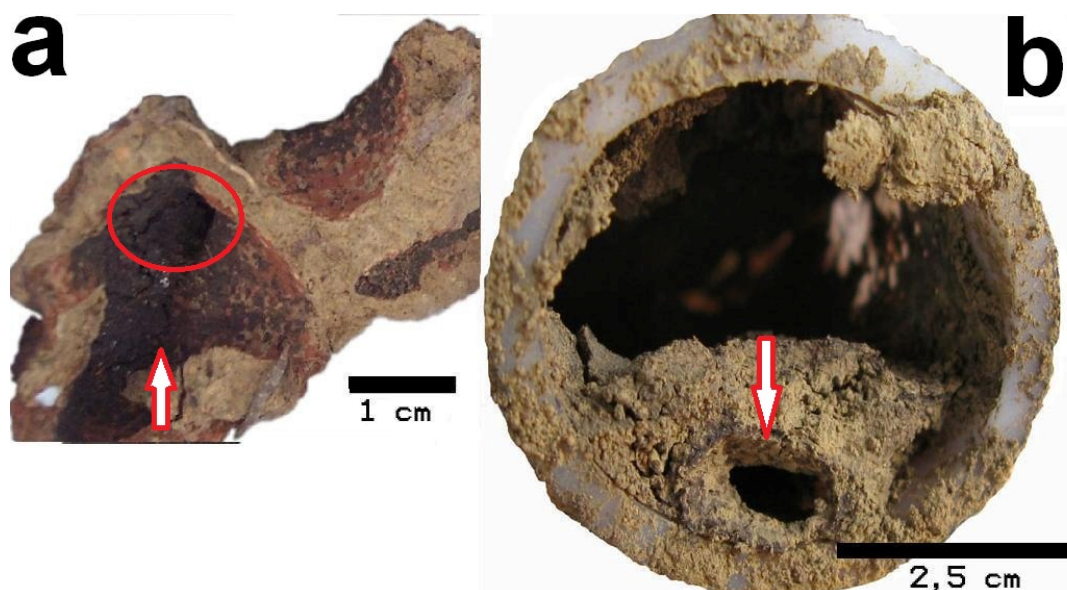


Figura 6.4 – Estruturas produzidas por *Cornitermes cumulans* no experimento com estruturas densas: a) Estrutura produzida na parte inferior do ninho, o círculo indica uma galeria passando ao meio, a seta o acúmulo de MO; b) Estrutura produzida no interior da mangueira (B), a seta indica a galeria principal para travessia entre vaso A e C.

As observações micromorfológicas das galerias construídas nas mangueiras (B) não evidenciaram tendência de preferência por tipo de partículas de solo pelos térmitas. As partículas de solo são orientadas em faixas, microestrutura laminar, microfieções semelhantes já foram relatadas por Lee e Wood (1971) e Sarcinelli et al. (2009), (Figura 5a). Esta orientação se dá no momento da construção da galeria, quando os grânulos de solo ainda úmidos são prensados uns contra os outros, o mesmo foi observado em feições coletadas no campo (Figura 5b). A micromorfologia mostra que a porosidade nas estruturas produzidas é quase nula. As estruturas contêm grãos de quartzo que medem de $< 0,1$ a 1 mm (Figura 5d) e microagregados arredondados (2 mm) formados pela junção de outros microagregados, dando origem a microestruturas adensadas (Figura 5d).

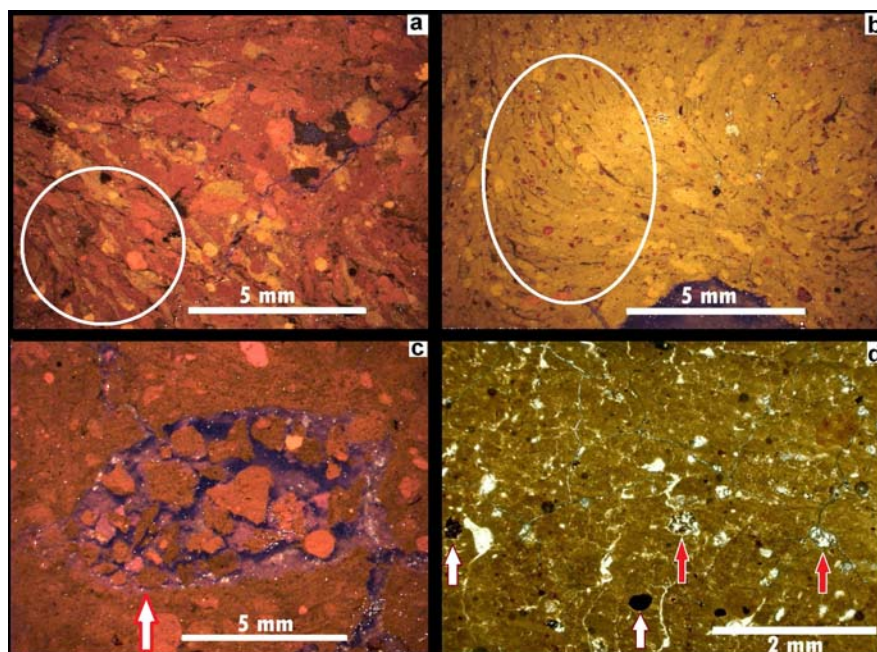


Figura 6.5 – Fotomicrografias de estruturas produzidas por *Cornitermes cumulans*: a) O círculo mostra a microestrutura estriada constituída por dejeções, minerais e microagregados do solo (experimento com estrutura granular do Bw3); b) Parede de galeria principal lateral, periécia, que sai do ninho em direção a subsuperfície na camada de solo a 45 cm de profundidade, o círculo mostra a microestrutura estriada constituída por dejeções, minerais e microagregados do solo (proveniente do campo); c) Galeria com preenchimento denso, amostra de um volume de material abaixo da colônia (experimento com estrutura granular do Bw3); d) Estrutura da parede da galeria, no interior da mangueira (B), com fissuras de dessecação, grãos de quartzos (setas vermelhas) e nódulos de ferro típicos puro (setas brancas).

Devido a fragilidade das galerias não foi possível coletar sistematicamente amostras dos experimentos nos vasos para confecção das lâminas delgadas. Era esperado que os térmitas construíssem galerias firmes, no entanto, verificou-se que estes foram oportunistas, utilizaram os espaços vazios entre as estruturas densas para se movimentarem (Figura 6b). As galerias encontradas eram extremamente frágeis, porém, bem definidas (Figura 6a) sem uma parede adensada com argila, como as galerias encontradas no campo (Figura 6c). No experimento de casa de vegetação eram apenas formadas de um revestimento escuro com 2 mm de espessura e diâmetro entre 1 a 2 cm.

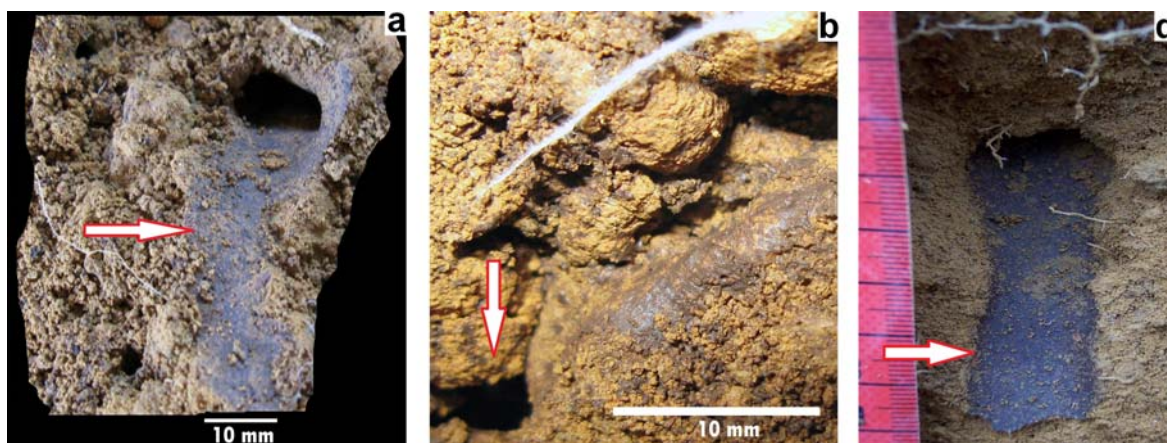


Figura 6.6 – Galerias de térmita *Cornitermes cumulans*: a) Galeria em vaso em casa de vegetação com macroestrutura densa, seta mostra revestimento escuro na parede com MO; b) Galerias entre as estruturas densas, parcialmente alteradas e forradas com agregados, seta mostra caminho percorrido pelos térmitas (vaso); c) Galeria no campo, seta indica a parede da galeria bem definida e acúmulo de MO.

Em condições de laboratório, Arab e Costa-Leonardo (2005), verificaram a estreita relação da umidade e temperatura com a área escavada por *Coptotermes gestroi* e *Heterotermes tenuis* (Rhinotermitidae). Lee et al., (2009) mostraram que os térmitas podem restringir o número de túneis que constroem para aumentar a eficiência de transporte de alimento. Neste estudo, onde a temperatura e umidade foram as mesmas para todos os ninhos da espécie de *C. cumulans*, as atividades de retrabalhar o solo e construir galerias foram intensas, sugerindo que o padrão de escavação é mais um fator comportamental, podendo estar ou não associada à busca por alimento. Para as colônias associadas às estruturas densas as atividades se estenderam para o vaso C, que continha somente alimento, assim a atividade de construção se deu concomitante ao forrageamento, ocorrendo nos vasos A e C.

Se em condições de laboratório o comportamento de escavação é afetado, no campo os térmitas constroem galerias transversais, horizontais e verticais que atingem profundidades importantes (LEPAGE et al., 1974), em busca de água e material argiloso úmido (LEPRUN, 1976). Nas observações a campo com *C. cumulans* galerias verticais desciam abaixo de 3 metros de profundidade.

A análise da relação das colônias de *C. cumulans* segundo o volume estrutural do ambiente ofertado é difícil de interpretar. Para o material Bw3, as estruturas produzidas não tiveram o impacto morfológico como aquelas provenientes das macroestruturas densas. Com os volumes granulares, ou seja, microagregados justapostos sem coesão, a atividade não produz estruturas específicas, apenas galerias permitindo atingir o

recurso alimentar. Como uma parte da oferta trófica estava perto das colônias, isto pode ter sido um fator para restrição das escavações. A este nível não descartamos uma possível interação com fatores químicos do material do horizonte Bw3. O fato importante é que as macroestruturas densas foram retrabalhadas pelas colônias, a fim de produzir ou isolar agregados livres e grânulos. As estruturas densas foram alteradas, em particular na estruturação da base dos ninhos, essas construções levaram a um padrão de microagregação já observado no campo.

Este tipo de experimento deve ser repetido para normalizar a análise das novas estruturas produzidas e em particular estudar os padrões de distribuição dos materiais no plasma, definir se as microestruturas são aproveitadas e/ou refeitas, e efetuar uma análise coerente da macro e microporosidade criadas.

6.4.4 Carbono e Nitrogênio das Macroestruturas Densas

As amostragens foram feitas em diversos locais dos vasos para se obter uma amostra composta de material retrabalhado. Os teores de N total e C total foram alterados e aumentaram no material retrabalhado (Tabela 2). O aumento dos valores das amostras do experimento é significativo quando comparado às estruturas densas coletadas a profundidades superiores a 30 cm no solo. Em nove meses de experimento a redistribuição de MO pelas fezes de térmitas parece ser eficaz. Este resultado é coerente com a síntese de Holt e Lepage (2000) que relatam o enriquecimento de C e N em ninhos de térmitas, em comparação com o solo adjacente.

Tabela 6.2 – Teores totais de carbono e nitrogênio das estruturas densas amostradas no campo e nos volumes submetidos à ação dos térmitas

Estruturas	C total*	N total*	C/N
	g.kg ⁻¹		
(1) coprólitos oriundos da camada 0-10 cm (campo)	25,02 ^a	1,33 ^b	18,81
(2) coprólitos da camada 30-100 cm (campo)	9,69 ^b	0,60 ^c	16,12
(3) coprólitos da camada > 100 cm (campo)	9,66 ^b	0,58 ^c	16,52
(4) coprólitos da camada 0-10 cm (1) retrabalhados por <i>C. cumulans</i> (vaso)	25,15 ^a	1,42 ^a	17,71
(5) coprólitos da camada > 30 cm (2) retrabalhados por <i>C. cumulans</i> (vaso)	24,19 ^a	1,27 ^b	19,02

* Resultados com letras diferentes na mesma coluna são significativamente diferentes pelo teste Tukey, $p \geq 0,95$

6.5 CONCLUSÕES

1. Reiteramos aqui, que os térmitas exploram o ambiente de forma aleatória em todas as direções, e ainda retrabalham estruturas densas, criam microestrutura e reagregam as partículas do solo para construção de galerias. Neste experimento todas as estruturas densas ofertadas às colônias foram parcialmente ou completamente modificadas e alteradas.
2. No que diz respeito ao material do horizonte Bw3, as atividades de *C. cumulans* foram menos intensas, sem que houvesse o deslocamento para os vasos contendo somente alimento.
3. O térmita *Cornitermes cumulans* aumenta a concentração de matéria orgânica do material ofertado.
4. As colônias de *C. cumulans* são capazes de se adaptarem rapidamente em novos ambientes, desde que haja condições favoráveis.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Os térmitas são apontados como um dos grupos de insetos mais adequados para monitoramento e análise de qualidade ambiental por sua abundância e diversidade taxonômica. Uma parte das espécies de térmitas transita, ou se estabelece no solo e participa do determinismo da criação de estruturas e de porosidade. Em geral, os trabalhos reconhecem de modo global a participação de térmitas na produção de feições dentro do solo. Mas, trabalhos que possam atribuir com precisão o efeito de uma espécie em particular e as feições que esta espécie produz são escassos. Reconhecer as diversas feições fabricadas por eles é de fundamental importância para detectar a presença de organismos promotores do estado estrutural do solo, mas também para entender a estabilidade das feições no decorrer do tempo. No entanto, existe ainda uma visão negativa dos efeitos que os térmitas podem causar para a produção vegetal, tanto na agropecuária como na silvicultura. Em consequência, o papel que possam ter no determinismo da estrutura do solo e na expressão da porosidade impõe que sejam realmente avaliados os efeitos que as atividades de determinadas colônias tem no volume de solo explorado.

Estado estrutural do solo resultante da atividade dos térmitas e outros grupos da macrofauna edáfica

A abordagem do trabalho considera que o solo é o recurso espacial disponível para as colônias de térmitas, da mesma maneira que os resíduos vegetais, liteira, matéria orgânica do solo são recursos tróficos, dependendo do gênero ou da espécie. O volume do solo disponível a uma espécie tem um impacto na atividade e essa atividade gera diferentes estruturas e porosidades. Para os térmitas o solo é um meio ambiente organizado. Na superfície encontram-se os materiais necessários para a alimentação, nas camadas profundas a fonte de umidade, no volume total do solo os diferentes tipos de agregados e microestruturas que podem servir à construção dos ninhos. A estrutura de um horizonte se define pelas características de tamanho, forma nitidez, dos fragmentos que se podem separar na mão, e correspondem a objetos naturais denominados agregados. Estes são de grande importância considerando a atividade da fauna. Alguns pesquisadores salientam os processos de atividades dos organismos do solo. De modo geral, diz-se que a origem da estrutura granular forte pode estar ligada a atividade biológica, especialmente nos latossolos que

possuem horizontes microagregados. Assim, apresentamos resultados que confirmam a atuação da fauna invertebrada do solo como promotores do estado estrutural de um Latossolo (LVA), particularmente os térmitas que criam estruturas microagregadas reconhecidamente (0,01-3 mm) ao longo do perfil do solo. No decorrer do trabalho, foram encontrados restos de montículos e galerias de térmitas, bem como outras estruturas incorporadas ao perfil de solo. Algumas estruturas originais foram descritas macro e micromorfológicamente, em particular as estruturas de galerias superficiais de *Ruptitermes sp* e paredes de galerias construídas por *Cornitermes cumulans*, que se supõe conferem rigidez e solidez à construção. As descrições de agregados oriundos da atividade dos térmitas em condições controladas mostraram semelhanças com o conjunto de agregados observados no campo.

Origem das estruturas microagregadas

As observações realizadas evidenciaram a presença de diversas estruturas, macro e microagregados (0,02-35 mm), resultado da atividade da macrofauna edáfica, principalmente de térmitas, coleópteros e de minhocaçu (*Glossoscolecidae*), confirmando a bioturbação. Mas, nem sempre é dada a devida atenção para este tipo de feições que passam despercebidas na descrição do perfil do solo. Conseguimos descrever e analisar a atividade construtora de *Ruptitermes sp*. na superfície do solo. Eles constroem seus ninhos subterrâneos, e ao mesmo tempo criam caminhos protegidos para forrageamento que cobre em média 54,62 % da superfície do solo, removendo e modificando, pela ingestão das partículas de solo, aproximadamente, uma tonelada anual de solo.

Quando é feita a relação entre contagens, medições das feições e propriedades físicas, os dados são coerentes. A macroporosidade obtida a partir de pedoturbação está relacionada com os valores de porosidade total do solo medidos nas trincheiras e, confirmam o papel de feições produzidas pela atividade dos térmitas e outros grupos faunísticos e suas organizações estruturais, como térmitas do gênero *Apicotermes*, formigas, coleópteros e as dejeções do “minhocuçu”.

Porosidade do solo dependente da atividade de construções

Constatamos que a porosidade do solo é diretamente influenciada pela atividade dos invertebrados do solo. Se por um lado, há as estruturas adensadas que diminuem a porosidade total do solo, em contra partida, as galerias marcadas pelo tamanho (\emptyset entre 0,5-

170 mm) e distribuição por todo o perfil, garante uma porosidade faunal significativa. A macroporosidade oriunda da pedoturbação representou um volume médio de $14,4 \text{ dm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ num total de 2435 câmaras identificadas. A atividade dos térmitas *Cornitermes cumulans* foi visivelmente discreta, de 0,16 a $0,36 \text{ dm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ de solo, e o gênero *Apicotermes* mais significativo, de 0,72 a $1,31 \text{ dm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ de solo revolvido. Outro grupo que teve atividade evidenciada foi *Rhinodrilus alatus* Glossoscolecidae, que produzem estruturas densas, representando de 40 a $110 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ de solo, principalmente nas camadas mais superficiais.

Atividades eficientes e rápidas dos térmitas de se adaptarem a diferentes ambientes

Ao serem indicados como um dos grupos de insetos mais adequados para monitoramento e análise de qualidade ambiental, outro fator importante a ser considerado é a capacidade de se auto-organizar e criar um ambiente favorável para a colônia e a facilidade deste inseto readaptar-se a novos ambientes. Dentro da auto-organização são capazes de retrabalhar o solo, criar novas estruturas, propiciando um ambiente completamente agregado e adaptar a porosidade pelas cavidades e galerias à sua atividade, tal qual foi mostrado no modelo térmita-feição estrutural densa em ambiente controlado. Essas atividades de construção e aterros a curto prazo confirmaram as estimativas de pedoturbação observadas a campo.

Algumas perspectivas de pesquisas em diferentes direções

Com este estudo houve um avanço no conhecimento da relação entre o estado estrutural do solo e a atividade de insetos sociais, particularmente de térmitas. No entanto, destaca-se a necessidade de realização de estudos para conhecer a relação entre o estado estrutural do solo e a atividade da macrofauna em conjunto e em particular o estudo do desenvolvimento das estruturas a campo.

A experiência adquirida mostra a necessidade de identificar as estruturas fabricadas pela atividade da fauna associando-a a cada inseto. O conhecimento analítico das estruturas separadamente é também uma alternativa a ser considerada. Como também testar claramente a atividade desses insetos e a formação/desaparecimento de macro e microagregados. Assim, teremos os fundamentos para compreender melhor a gênese e a evolução da porosidade do solo, processos básicos da manutenção das propriedades que determinam o comportamento hídrico (permeabilidade, capacidade de retenção de água, estabilidade estrutural, etc).

Desenvolvemos uma metodologia de dissecação do solo, de difícil aplicação, requerendo grande cuidado e destreza na observação e contabilização de todas as estruturas. Será necessário aprimorar esta metodologia de dissecação do perfil para evitar a sub ou superestimação das observações de estruturas, levando em consideração que é um método destrutivo e que as estruturas são em sua maioria frágeis quando separadas do volume do solo onde se encontram. Por exemplo, o volume mediano de macroporosidade oriunda das atividades da fauna, calculada para uma área de pastagem cultivada de 5 anos, foi de $14,4 \text{ dm}^3/\text{m}^3$, o equivalente a 3,8 % do volume do solo estudado, sendo este valor certamente foi subestimado, pois ao dissecar o solo parte das galerias e cavidades foram perdidas e não foram devidamente contabilizadas.

REFERÊNCIAS

- ABE, T.; BIGNELL, D. E.; HIGASHI, M. **Termites: evolution, sociality, symbioses, ecology**. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2002. 466p.
- ACKERMAN, I. L.; TEIXEIRA, W. G.; RIHA, S. J.; LEHMANN, J.; FERNANDES, E. C. M. The impact of mound-building termites on surface soil properties in a secondary forest of Central Amazonia. **Applied Soil Ecology**, v. 37, n. 3, p. 267-276, 2007.
- ADÂMOLI, J.; MACEDO, J.; AZEVEDO, L. G. de; MEDEIRO NETO, J. Caracterização da Região dos Cerrados. In: GOEDERT, W. J. (Ed.) **Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. Planaltina: Embrapa – CPAC; São Paulo: Nobel, 1986. p. 33-74.
- ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods** CAB. Oxford: CABI, 1993.
- ANDERSON, J.M. WOOD, T.G. Mound composition and soil modification by two soil-feeding termites (Termitinae, Termitidae) in a riparian Nigerian forest. **Pedobiologia**, v. 26, p. 72- 82, 1984.
- ARAB, A.; COSTA-LEONARDO, A. M. Effect of biotic and abiotic factors on the tunneling behavior of *Coptotermes gestroi* and *Heterotermes tenuis* (Isoptera: Rhinotermitidae) **Behavioural Processes**, v. 70, p. 32–40, 2005.
- ARAÚJO, A. P. A. **Por que existem recursos potenciais não explorados pelos cupins (Insecta: Isoptera)**. 2005. Tese (Doutorado em Entomologia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2005.
- ASAWALAM, D. O.; JOHNSON, S. Physical and chemical characteristics of soils modified by earthworms and termites. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 38, n. 3/4, p. 513-521, 2007.
- AWADZI, T. W.; COBBLAH, M. A.; BREUNING-MADSEN, H. The Role of Termites in soil formation in the tropical semi-deciduous forest zone, Ghana. **Geografisk Tidsskrift, Danish Journal of Geography**, v. 104, n. 2, p. 27-34, 2004.
- BACHELIER, G. La faune des sols, son écologie et son action. **Initiations-Documentations Techniques**, Orstom, n. 38, 1978.
- BAGINE, R. K. N. Soil translocation by termites of the genus *Odontotermes* (holmgren) (Isoptera: Macrotermitinae) in an arid area of Northern Kenya. **Oecologia**, Berlin, v. 64, p. 263-266, 1984.
- BALBINO, L. C.; BROSSARD, M.; LEPRUN, J. C.; BRUAND, A. Mise en valeur des Ferralsols de la région du Cerrado (Brésil) et évolution de leurs propriétés physiques: une étude bibliographique. **Etude et Gestion des Sols**, v. 9, p. 83-104, 2002.
- BANDEIRA, A. G. Ecologia de cupins (Insecta, Isoptera) da Amazônia central: efeitos do desmatamento sobre as populações. **Acta Amazonica**, v. 9, p. 481-499, 1979.

BANDEIRA, A. G. Análise da termitofauna (Insecta: Isoptera) de uma floresta primária e de uma pastagem na Amazônia Oriental, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, v. 5, n. 2, p. 225-241, 1989.

BANDEIRA, A. G. Térmitas (insecta, isoptera) consumidores de liteira na ilha de Maracá Roraima. **ACTA Amazônica**, v. 21, p. 15-23, 1991.

BARRETA, D. **Fauna do solo e outros atributos edáficos como indicadores da qualidade ambiental em áreas com araucária angustifolia no estado de São Paulo**. , 2008. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2008.

BARROS, E.; SARRAZIN, M.; CHAUVEL, A.; MITJA, D.; DESJARDINS, T.; LAVELLE, P. Soil physical degradation and changes in macrofaunal communities in Central Amazon. **Applied Soil Ecology**, v. 26, n. 1, p. 157–168, 2004.

BARROS, O. N. F. Formação de horizontes pedológicos em solos sobre basalto (Londrina-PR-Brasil) e ação biológica no intemperismo. 1996. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade de São Paulo, Departamento de Geografia da FFLCH, São Paulo, 1996.

BEAUDOU, A. G. Expression micromorphologique de la microagrégation et de l'illuviation dans certains horizons de sols ferrallitiques centrafricains et dans les sols hydromorphes associés. **Cahiers Orstom**, v. 10, n. 4, p. 357-372, 1972.

BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. Resistência à penetração e permeabilidade de latossolo vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 25, p.167-177, 2001.

BENITO, N. P.; SOARES, R. S.; AMABÍLIO, J.; CAMARGO, A.; BROSSARD, M. Criação de colônias de cupins de montículos em casa de vegetação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 22., 2008, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia, 2008.

BENITO, N. P.; BROSSARD, M.; PASINI, A.; GUIMARÃES, M. de F.; BOBILLIER, B. Transformations of soil macroinvertebrate populations after native vegetation conversion to pasture cultivation (Brazilian Cerrado). **European Journal of Soil Biology**, v. 40, p. 147-154, 2004.

BENZIE, J. The role and growth of the mounds of the termites *trinervitermes geminatus* (Wasmman) and *cubitermes cuvitatus* Silvestri (Isoptera: Termitidae) in Northern Guinea Savanna West Africa. **Oecologia**, v. 70, p. 559-567, 1986.

BIGNELL, D. E. Termites as soil engineers and soil processors. **Soil Biology**, v. 6, p. 183-220, 2006.

BLACK, H. I. J.; OKWAKOL, M. J. N. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the tropics: the role of termites. **Applied Soil Ecology**, v. 6, p. 37-53, 1997.

BONABEAU, E.; THERAULAZ, G.; DENEUBOURG, J. L.; FRANKS, N.; RAFELSBERGER, O.; JOLY, J. L.; BLANCO, S. A model for the emergence of pillars, walls and royal chamber in termite nests. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London Serie B Biological Sciences**, v. 353, p. 1561-1576, 1998.

BONABEAU, E. Social insect colonies as complex adaptive systems. **Ecosystems**, v. 1, p. 437-443, 1998.

BOULET, R.; PESSEDA, L. C. R., TELLES, E. C. C., MELFI, A. J. Une évaluation de la vitesse de l'accumulation superficielle de matière par la faune du sol à partir de la datation des charbons et de l'humine du sol. Exemple des latosols des versants du lac Capestre, Salitre, Minas Gerais, Brésil. C. R. **Acad. Sci. Paris, Série IIa**, v. 320, n. 4, p. 287-294, 1995.

BOYER, P. Actions de certains termites constructeurs sur l'évolution des sols tropicaux. **Ann Sci Nat Zool** (Paris), v. 15, p. 329-498, 1973.

_____. Action des termites constructeurs sur certains sols d'Afrique tropicale. **Int. Sci. Sol**, Paris, v. 3, n. 16, p. 95-103, 1956.

_____. Influence des remaniements par le termite et de l'érosion sur l'évolution pédogénétique de la termitière épigée de *Bellicositermes rex*. **Comptes Rendus Hebdomadaires de séances de l'Académie de Science**, v. 247, p. 749-51, 1958.

_____. **Les différents aspects de l'action de certains Bellicositermes sur l'évolution des sols des savanes oubanguiennes (République Centrafricaine)**. Paris: Masson éd., 1973.

_____. Les différents aspects de l'action des termites sur les sols tropicaux. In: VILLARS, Gauthier. **Lavie dans les sols**. Paris, 1971. p. 279-334.

_____. Les effets de l'implantation des termitières des *Bellicositermes* sur la configuration des sols des savanes de la République centrafricaine. **Bull Mus Nat Hist Nat.**, v. 41, p. 789-800, 1969.

BRANDÃO, D. Relações Espaciais de Duas Espécies de Syntermes (Isoptera, Termitidae) nos Cerrados da Região de Brasília, DF, Brasil. **Revta bras. Ent.**, v. 35, n. 4, p.745-754, 1991.

BRAUMAN, A. Effect of gut transit and mound deposit on soil organic matter transformations in the soil feeding termite: a review. **European Journal of Soil Biology**, v. 36, n. 3, p. 117-125, July, 2000.

BROWN, G. G.; FRAGOSO, F. **Minhocas na América Latina: Biodiversidade e ecologia**. Londrina: Embrapa Soja, 2007.

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**. Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 2000. p. 233-259.

BREEMEN, N. V.; BUURMAN, P. **Soil formation**. Dordrecht: Kluwer, 1998.

BREWER, R. **Fabric and mineral analysis of soils**. New York: Wiley, 1964.

BROSSARD, M.; LOPEZ-HERNANDEZ, D.; LEPAGE, M. LEPRUN, J. C. Nutrient storage in soils and nests of mound-building *Trinervitermes* termites in Central Burkina Faso: consequences for soil fertility. **Biol Fertil Soils**, v. 43, p. 437-447, 2007.

BROWN JUNIOR, K. S. Diversity, disturbance, and sustainable use of Neotropical forests: insects as indicators for conservation monitoring. **Journal of Insect Conservation**, v. 1, p. 25-42, 1997.

BRUSSAARD, L.; BEHAN-PELLETIER, V. M.; BIGNELL, D. E.; BROWN, V. K.; DIDDEN, W.; FOLGARAIT, P.; FRAGOSO, C.; FRECKMAN, D. W.; GUPTA, V. V. S. R.; HATTORI, T.; HAWKSWORTH, D. L.; KLOPATEK, C.; LAVELLE, P.; MALLOCH, D. W.; RUSEK, J.; SODERSTROM, B.; TIEDJE, J. M.; VIRGINIA, R. A. Biodiversity and ecosystem functioning in soil. **Ambio**, v. 26, p. 563-570, 1997.

BULLOCK, P.; FEDOROFF, N.; JONGERIUS, A.; STOOPS, G.; TURSINA, T.; BABEL, U. **Handbook for soil thin section description**. Wolverhampton, Waine Research Publication, 1985.

BUSSCHER, W.J. Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a common water content. **Transactions of ASAE**, v. 33, p. 519-24, 1990.

CAILLEUX, A. La ligne de cailloutis a la base de sols jaune. **Zeitschrift fur Geomorphology I**, p. 312-313, 1957.

CALHOUN, F. G.; SMECK, N. E.; SLATER, B. L.; BIGHAM, J. M.; HALL, G. F. Predicting bulk density of Ohio soils from morphology, genetic principles, and laboratory characterization data. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 65, p. 811-819, 2001.

CAMARGO, M. N.; KIMBLE, J. M.; BEINROTH, F. H. Classification, characterization and utilization of oxisols, Part 2: Field Trip Background, Site and Pedon Descriptions, Analytical Data. In: INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP, 8., 1986, Rio de Janeiro, Brazil. **Proceedings...** Rio de Janeiro: Embrapa, 1988.

CAMARGO, M. N.; KLAMT, E.; KAUFFMAN, J. H. Classificação de solos usado em levantamentos pedológicos no Brasil. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira do Solo**, Campinas, v. 12, n. 1, p. 11-33, 1987.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1986. (Boletim Técnico, 106).

CAMAZINE, S., DENEUBOURG, J. L.; FRANKS, N.; SNEYD, J.; THERAULAZ, G.; BONABEAU, E. **Self-organization in biological systems**. Princeton: Princeton University Press, 2001.

CAMMERAT, L. H.; WILLOTT, S. J.; COMPTON, S. G.; INCOLL, L. D. The effects of ants' nests on the physical, chemical and hydrological properties of a rangeland soil in semi-arid Spain. **Geoderma**, v. 105, p. 1-20, 2002.

CAMPORA, C. E.; GRACE, J. K. Effect of averageworker size on tunneling behavior of formosan subterranean termite colonies. **Journal of Insect Behavior**, v. 17, n. 6, 2004.

CAMPORA, C. E.; GRACE, J. K. Tunnel orientation and search pattern sequence of the Formosan subterranean termite (Isoptera: Rhinotermitidae). **J. Econ. Entomol.**, v. 94, p. 1193-199, 2001.

CAMPOS, R. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um latossolo vermelho-escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 19, p. 121-126, 1995.

CHAUVEL, A. Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. Thèse Sci. **Strasbourg et Travaux et Documents ORSTOM**, n. 62, 1976.

CHAUVEL, A. Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. Thèse Sci. **Strasbourg et Travaux et Documents ORSTOM**, n. 62, 1977.

CONSTANTINO, R. Chave ilustrada para identificação dos gêneros de cupins (insecta: isoptera) que ocorrem no Brasil. **Papéis Avulsos de Zoologia**, v.40, p. 387-448, 1999.

CONSTANTINO, R. Padrões de diversidade e endemismo de térmitas no bioma Cerrado. In: SCARIOT, A.; SILVA, J. C. S.; FELFILI, J. M. (Org.). **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. p. 220-333.

COOPER, M.; VIDAL-TORRADO, P.; CHAPLOT, V. Origin of microaggregates in soils with ferrallic horizons. **Sci. Agric.**, v. 62, n. 3, p. 256-263, 2005.

CORREA, G. F. **Les microrolles «murundus» et leur environnement pedologique dans l'ouest du Minas Gerais, region du Plateau central bresiliene**. 1989. These (Douctorat) - l'Université de Nancy I, France.

COSARINSKY, M. I.; ROCES, F. Neighbor leaf-cutting ants and mound-building termites: comparative nest micromorphology. **Geoderma**, v. 141, n. 3/4, p. 224-234, 2007.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um latossolo Bruno afetadas pelos sistemas de plantio direto e preparo convencional. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 27, p. 527-535, 2003.

CUNHA, H. F.; COSTA, D. A.; BRANDAO, D. Termite (Isoptera) assemblages in some Regions of the Goias State, Brazil. **Sociobiology**, v. 47, p. 2, p. 505-518, 2006.

CURI, N.; FRANZMEIER, D. P. Toposequence of oxisols from the central plateau of Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 48, n.2, p. 341-346, 1984.

DARWIN, C., 1896. **The formation of vegetable mould through the action of worms, with observations on their habits.** NY: Appleton, 1896.

DAVIES, R. G. Feeding group responses of a Neotropical termite assemblage to rain forest fragmentation. **Oecologia**, v.133, p. 2, p. 233-242, 2002.

DECAËNS, T.; LAVELLE, P.; JIMÉNEZ, J. J.; ESCOBAR, G.; RIPPSTEIN, G.; SCHNEIDMADL, J.; SANZ, J. I.; HOYOS, P.; THOMAS, R. J. Impacto del uso de la tierra en la macrofauna del suelo de los llanos orientales de Colombia. In: JIMÉNEZ, J. J.; THOMAS, R. J. (Ed.). **El arado natural: las comunidades de macroinvertebrados del suelo en las savanas neotropicales de Colombia.** Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 2003. (Publicación CIAT, 336), p. 21-45.

DEMATTE, J. A. M.; MAFRA, A. L.; BERNARDES, F. F. Comportamento espectral de materiais de solos e de estruturas biogênicas associadas. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 22, p. 621-630, 1998.

DIAS, V. S.; BROSSARD, M.; LOPES ASSAD, M. L. Macrofauna edáfica invertebrada em áreas de vegetação nativa da região de cerrados. In: LEITE, L. L.; SAITO, C. H. (Ed.) **Contribuição ao conhecimento ecológico do cerrado.** Brasília: Universidade de Brasília, 1997. p. 168-173.

DOMINGOS, D. J.; CAVENAGHI, T. M. C. M.; GONTIJO, T. A.; DRUMOND, M.; CARVALHO, R. C. F. Composição de espécies, densidade e aspectos biológicos da fauna de térmitas de cerrado em Sete Lagoas – MG. **Ciência e Cultura**, v. 38, p. 199-207, 1986.

DRUMMOND, H. On the termite as the tropical analogue of the earthworm. **Proceedings of the Royal Society of Edinburgh**, v. 13, p. 137-146, 1986.

DUBOISSET, A.; SEIGNOBOS, C. Petite histoire des connaissances acquises sur les termites et leur rôle agroécologique. **Étude et Gestion des Sols**, v. 12, n. 2, p. 153-164, 2005.

EGGLETON, P., BIGNELL, D. E.; HAUSER, S.; DIBOG, L.; NORGEORVE, L.; MADONG, B. Termite diversity across an anthropogenic disturbance gradient in the humid forest zone of West Africa. **Agric. Ecosyst. Environ**, v. 90, n. 2, p.189-202, 2002.

EKUNDAYO, E. O.; AGHATISE, V. O. Soil properties of termite mounds under different land use types in a typic paleudult of midwestern nigeria. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 45, p. 1-7, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

_____. **Manual de métodos de análise de solos.** 2. ed. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997.

ERHART H. Sur le role des cuirasses termitiques dans la geographie des regions tropicales. **Cahiers Recherche Academic Scientifique**, Paris, v. 233, p. 966-968, 1951.

ESCHENBRENNER, V. Les glébules des sols de Côte d'Ivoire: nature et origine en milieu ferrallitique, modalités de leur concentration, rôle des termites. Thèse d'État, Université de Dijon. 1988.

ESCHENBRENNER, V. Contribution des termites à la micro-agrégation des sols tropicaux. **Cah. ORSTOM**, sér. Pédol., v. 22, n. 4, p. 397-408, 1986.

_____. The influence of fungus-cultivating ants (Hymenoptera, Formicidae, Attini) on the morphology of andosols in Martinique. **Soil Micromorphology: studies in management and genesis**, v. 22, p. 405-410, 1994.

ESCHENBRENNER, V.; SOARES, M. T. S.; MELFI, A. J. Estocagem de carbono numa savana amazônica: contribuição do solo e dos cupinzeiros. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM: SOIL FUNCTIONING UNDER PASTURES IN INTERTROPICAL AREAS. 2000, Brasília. **Anais...** CPAC: Planaltina, 2000. CD-ROM.

FERNANDES CORREA, G. **Les microreliefs "murundus" et leur environnement pédologique dans l'ouest du Minas Gerais, région du plateau central brésilien**. 1989. These (Dprésentée) - Université de Nancy, France.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de latossolos da região sudeste do Brasil. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 23, p. 513-524, 1999.

FERRAR, P. Termites of a South African Savanna I. List of Species and Subhabitat Preferences. **Oecologia**, v. 52, p. 125- 132, 1982.

FERREIRA, M. M. **Física do solo**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1993. 63p.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA., 45., 2000, São Carlos, SP. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

FOURCASSIÉ, V.; OLIVIERA, P. Foraging ecology of the giant ant *Dinoponera gigantea* (Hymenoptera, Formicidae, Ponerinae): activity schedule, diet, and spatial foraging patterns. **Journal of Natural History**, v. 36, n. 18, p. 2211-2227, 2002.

FOURCASSIÉ, V.; BREDARD, C.; VOLPATTI, K.; THERAULAZ, G. Dispersion movements in ants: spatial structuring and density-dependent effects. **Behavioural Processes**, v. 63, p. 33-43, 2003.

GARNIER-SILLAM, E.; HARRY, M. Distribution of humic compounds in mounds of soil-feeding termites: its influence on soil structural stability. **Insectes Soc.**, v. 42, p. 167-185, 1995.

GARNIER-SILLAM, E.; TOUTAIN, F.; RENOUX, J. Comparaison de l'influence de deux termitières (humivore et champignoniste) sur la stabilité structurale des sols forestiers tropicaux. **Pedobiologia**, v. 32, n. 1-2, p. 89-97, 1988.

GAVIRIA, S. Evolution minéralogique et géochimique du fer et de l'aluminium dans les sols ferrallitiques hydromorphes des llanos orientales de Colombie. Les états précoces du cuirassement. 1993. Thèse (Docteur) - Université de Nancy I en Pédologie, Nancy.

GERÔNIMO, J. R.; FRANCO, V. S. **Geometria plana e espacial**: um estudo axiomático. 2 ed. Maringá: Eduem, 2010.

GOLDBERG, J. La construction chez le termite de Saintonge. L'adaptation des galeries-tunnels à la topographie et le tracé minimal. **C. R. Acad. Sci. Paris**, Sér. D, v. 278, n. 24, p. 3127-3130, 1974.

GONÇALVES, T. T.; REIS JUNIOR, R.; DESOUZA, O.; RIBEIRO, S. P. Predation and interference competition between ants (himenóptera: Formicidae) and arboreal térmites (Isoptera: termitidea). **Sociobiology**, v. 46, n. 2, p. 409-419, 2005.

GOUVEIA, S. E. M.; PESSEDA, L. C. R. Datation par le ¹⁴C de charbons inclus dans le sol pour l'étude du rôle de la remontée biologique de matière et du colluvionnement dans la formation de latosols de l'état de São Paulo, Brésil. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris**, v. 330, p. 133-138, 2000.

GRASSÉ, P. P. La reconstruction du nid et les coordinations interindividuelles chez *Bellicositermes natalensis* et *Cubitermes* sp. La théorie de la stigmergie: essais d'interprétation du comportement des termites constructeurs. **Insectes Sociaux**, v. 6, p. 41-84, 1959.

_____. Un nouveau type de symbiose: la meule alimentaire des Termites champignonnistes. **La Nature**, n. 3293, p. 385-389, 1959.

_____. Termites et sols tropicaux. **Revue Int. Bot. Appl. et Agric. Trop.**, n. 337-338, p. 549-554, 1950.

_____. NOIROT, C. H. Rapports des termites avec les sols tropicaux. **Rev. GPomorph. Dynam.**, v. 10, p. 35-40, 1959.

_____. **Termitologia**: anatomie, physiologie, biologie systématique des termites. Masson: Fondation des sociétés-Constructions, 1984. Tome 2.

_____. **Termitologia**. Paris: Masson, 1986. v.2

_____. **Termitologia**. Paris: Masson, 1986. v.3.

GULLAN, P. J.; CRANSTON, P. S. **Os insetos**: um resumo da entomologia. 3. ed. São Paulo: Ed. Roca, 2008.

HARRIS, W. V. Termites and tropical agriculture. **The Journal of Imperial College of Tropical Agriculture**, v. 31, p. 11-18, 1954.

HAUSER, P. L'action des termites en milieu de savane sèche. Cah. ORSTOM., sér. **Sci. Hum.** v. 15, n. 1, p. 35-49, 1978.

HEDLUND, J. C.; HENDERSON, G. Effect of available food size on search tunnel formation by the Formosan Subterranean Termite (Isoptera, Rhinotermitidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 92, p. 610-616, 1999.

HESSE, P. R. A chemical and physical study of the soils of termite mounds in East Africa. **J. Ecol.**, v. 43, p. 449-61, 1955.

HALLAIRE, V.; CONTEIPAS, J.P. **Caractérisation de la macroporosité d'un sol de verger par analyse d'image**. Agronomie, Paris, v.3, p155-167, 1993

HOLE, F.D. A classification of pedoturbations and some other processes and factors of soil formation in relation to isotropism and anisotropism. **Soil Sci.**, v. 91, p. 375-377, 1961.

HOLT, J. A.; LEPAGE, M. Termites and Soil Properties. In: ABE, T.; BIGNELL, D. E.; HIGASHI, M. (Ed.). **Termites, evolution, sociality, symbiosis, ecology**. Dordrecht: Kluwer Academic, 2000. p. 389-407.

HOPKIN, S. P.; READ, H. J. **The biology of millipedes**. Oxford: Oxford University Press, 1992.

HORWATH, W. Carbon cycling and formation of soil organic matter. 2007. In: PAUL, E. A. **Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry**. 3. ed. New York: Academic Press, 2007. p. 303-339.

IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. **World Soil Resources Reports**. FAO, Rome, n. 103, 2006.

JANEAU, J.L.; VALENTIN, C. Relations entre les termitières Trinervitermes s.p. et la surface du sol: réorganisations, ruissellement et érosion. **Rev. Bcol. Bid. Sol**, v. 24, n. 4, p. 637-647, 1987.

JONES, C. G.; LAWTON, J. H.; SHACHAK, M. Organisms as ecosystem engineers. **Oikos**, v. 69, p. 373-386, 1994.

JORGE, L. A. de C. Processamento de imagens em ciência do solo – raízes morfologia e cobertura do solo. In: MARTIN NET, L.; VAZ, C. M. P.; CRESTANA, S. **Instrumentação avançada em ciências do solo**. Embrpa Instrumentação Agropecuária, 2007. 438p.

JOSENS, G. The soil fauna of tropical savannas. III: the termites: In: BOURLIERE, F. (Ed.). **Tropical Savannas**. Amsterdam: Elsevier Scientific, p. 505-524, 1983.

JOUQUET, P., MAMOU, L.; LEPAGE, M.; VELDE, B. Effect of termites on clay minerals in tropical soils fungus-growing termites as weathering agents. **Eur. J. Soil Sci.**, v. 53, p. 521-527, 2002.

JUNGERIUS, P. D.; VAN DEN ANCKER, J. A. M.; MÜCHER, H. J. The contribution of termites to the microgranular structure of soils on the Uasin Gishu Plateau, Kenya. **Catena**, v. 34, p. 349-363, 1999.

KASCHUK, G.; SANTOS, J. C. P.; ALMEIDA, J. A.; SINHORATI, D. C.; BERTON-JUNIOR, J. F. Termite activity in relation to natural Grassland soil attributes. **Scientia Agrícola**, v. 63, n. 6, p. 583-588, 2006.

KER, J. C. Latossolos do Brasil: uma revisão. **Geonomos**, v. 5, n. 1, p. 17-40, 1998.

KLEIN, V. A. Densidade relativa – um indicador de qualidade física do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14, Cuiabá, 2002. **Resumos Expandidos**. Cuiabá: SBCS, 2002. CD-ROM.

KONATÉ, S.; LE ROUX, X.; TESSIER, D.; LEPAGE, M. Influence of large termitaria on soil characteristics, soil water regime, and tree leaf shedding pattern in a West African savanna. **Plant and Soil**, v. 206, p. 47-60, 1999.

KUBIENA, M. L., Zur Micromorphologie der braunen and roten Tropenboden, **Soil Science**, Amsterdam, v. 1, p. 304–307, 1950.

LAL, R. Termites. **Tropical ecology and physical edaphology**. New York: Wiley ; Sons, 1987.

LAVELLE, P. Faunal Activities and Soil Processes: adaptive strategies that determine ecosystem function. **Advances in ecological research**, v. 21, 1997.

LAVELLE, P., BIGNELL, D.E., LEPAGE, M., WOLTERS, V., ROGER, P., INESON, P., HEAL, O.W. ; DHILLION, S. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. **Eur. J. Soil Biol.** v. 33, p. 159-193, 1997.

LAVELLE, P.; DECAËNS, T.; AUBERT, M.; BAROT, S.; BLOUIN, M.; BUREAU, F.; MARGERIE, P.; MORA, P.; ROSSI, J.-P. Soil invertebrates and ecosystem services. **European Journal of Soil Biology**, v. 42, p. 3-15, 2006.

LAVELLE, P.; SPAIN, A. V. **Soil ecology**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001.

LEE, K.; WOOD, T., **Termites and Soils**. London: Academic Press, 1971.

LEE, S.-H.; SU, N.-Y.; LEE, M. Why is the number of primary tunnels of the formosan subterranean termite, *Coptotermes formosanus* Shiraki (Isoptera: Rhinotermitidae), restricted during foraging? **Journal of Asia-Pacific Entomology**, v. 12, p. 151–154, 2009.

LEE, S. H.; BARDUNIAS, P.; SU, N. Y.; YANG, R. L. Behavioral response of termites to tunnel surface irregularity. **Behavioural Processes**, v. 78, p. 397-400, 2008.

LEMONS, R. C., SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3. ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 84 p.

LÉONARD, J.; RAJOT, J. L. Influence of termites on runoff and infiltration: quantification and analysis. **Geoderma**, v. 104, p. 17–40, 2001.

- LÉONARD, J.; PERRIER, E.; RAJOT, J. L. Biological macropores effect on runoff and infiltration: a combined experimental and modelling approach. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 104, p. 277–285, 2004.
- LEPAGE, M.; DARLINGTON, J. P. E. C. Population dynamics of termites. In: BIGNELL, T. Abe, D. E.; HIGASHI, M. (Ed.). **Termites: evolution, sociality, symbioses, ecology**. Dordrecht: Kluwer, 2000. p. 333–362.
- LEPAGE, M.; MOREL, G.; RESPLENDINO, C. **Découverte de galeries de Termites atteignant la nappe phréatique profonde dans le Nord du Sénégal**. Paris: Acad. Sc., 1974.
- LEPRUN, J. C. Une construction originale hypogée pour le stockage de l'eau par les Termites en régions ssheo-soudaniennes de Haute-Volta. **Pedobiologia**, v. 16, n. 8, p. 451-456, 1976.
- LOBRY DE BRUYN, L. A.; CONACHER, A. J. The Role of Termites and Ants in Soil Modivation. **A Review, Australian Journal of Soil Research**, v. 28, p. 55–93, 1990.
- LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D. Nutrient dynamics (C, N and P) in termite mounds of *Nasutitermes ephratae* from savannas of the Orinoco Llanos (Venezuela). **Soil Biol Biochem**, v. 33, p. 747-753, 2001.
- LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D., BROSSARD, M., FARDEAU, J. C.;LEPAGE, M. Effect of different termite feeding groups on P sorption and P availability in African and south American savannas. **Biology and Fertility of Soils**, v. 42, p. 207-214, 2006.
- MACEDO, J.; BRYANT, R.B. Morphology, Mineralogy, and genesis of a hydrosequence of oxisols in Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 51, p. 690-698, 1987.
- MACKAY, W. P.; WHITFORD, W. G Spatial variability of termite gallery production in Chihuahuan desert plant communities. **Sociobiology**, v. 14, p. 281-289, 1988.
- MAETERLINK, M. **La vie des térmites**. Paris: Bibliothèque-charpentier, 1928.
- MANDO, A. Effect of termites and mulch on the physical rehabilitation of structurally crusted soils in the sahel. **Land degradation ; Development**, v. 8, p. 269-278, 1997.
- MARCHÃO, R. L.; LAVELLE, P.; CELINI, L.; BALBINO, L. C.; VILELA, L.; BECQUER, T. Soil macrofauna under integrated crop-livestock systems in a Brazilian Cerrado Ferralsol. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 44, n. 8, p. 1011-1020, 2009.
- MATHEWS, A. G. A. **Studies on termites from the Mato Grosso State, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1977. 267 p.
- MATHIEU, C. PIELTAIN, F.. **Analyse physique des sols: methodes choisies**. Paris: Lavoisier Tec and Doc, 1998. 274 p.
- MERMUT A. R.; GHEBRE-EGZIABHIER K.; ST ARNAUD R. J. The nature of smectites in some find textured lacustrine parent materials in southern Saskatchewan. **Can. J. Soil Sci.** v. 64, p. 481–494, 1984.

MIEDEMA, R., VAN VUURE, W. The morphological, physical and chemical properties of two mounds of *Macrotermes bellicosus* Smeathman compared with surrounding soils in Sierra Leone. **Journal of Soil Science**, v. 28, p. 112–124, 1977.

MIKLÓS, A. A. W. **Biodinamique d'une couverture pedologique dans la region de Botucatu (Brésil-SP)**. These (Doctorat) – Univresité, Paris, 1992.

_____. Papel de cupins e formigas na organização e na dinâmica da cobertura pedológica. In: FONTES, L. R.; BERTI FILHO, E. (Ed). **Cupins**: o desafio do conhecimento. Piracicaba: FEALQ, 1998. p. 227-241.

MILL, A.E. Populações de térmitas (Insecta: Isoptera) em quatro habitats no baixo do rio Negro. **Acta Amazônica**, v. 12, n. 1, p. 53-60, 1982.

MORAN, C.J.; KOPPI, A.J.; MURPHY, B.W. ; MCBRATNEY, A.B. Comparison of the macropore structure of a sandy loam surface soil horizon subjected to two tillage treatments. **Soil Use Manag.** v. 4, p. 96-102, 1988.

MULLER, J-P. Microstructuration des structichrons rouges ferrallitiques, à l'amont des modelés convexes (Centre-Cameroun) Aspects morphologiques. **Cah. ORSTOM, sér. Pédol.**, v. 15, n. 3, p. 239-258, 1977.

MURPHY, C.P. **Thin section preparation of soils and sediments**. Rothamsted, A.B. Academic Publishers, 1986. 149p.

NOBRE, T.; NUNES, L.; BIGNELL, D. Tunnel geometry of the subterranean termite *Reticulitermes grasse* (Isoptera: Rhinotermitidae) in response to sand bulk density and the presence of food. **Insect Science**, v. 14, p. 511-518, 2007.

NOIROT, C. The nets of termites. In: KRISHNA, K.; WEESNER, F.M. (Ed.). **Biology of Termites**. 2. New York: Academic Press, 1970. v. 1, p. 73-125.

NUNES, L. A. P. L.; ARAUJO FILHO, J. A.; MENEZES, R. I. de Q. Diversidade edáfica em solos submetidos a diferentes sistemas de manejo no semi-árido nordestino. **Sci. Agra.**, v. 10, n. 1, p. 43-49, 2009.

NYE, P. H. Some soil forming in the humid tropics: the action of the soil fauna. **Journal of Soil Science**, v. 6, p. 73-83, 1955.

OHIAGU, C. E. A quantitative study of seasonal foraging by the grass harvesting termite. *Trinitermes geminatus* (Wasmann), (Isoptera, Nasutitermitinae) in southern Guinea savanna, Nigeria. **Oecologia**, v. 40, p. 179-188, 1979.

OLIVEIRA C. V., KER, J. C.; DUARTE, M.; CURI, N., FONTES, L. E. F. Atributos micromorfológicos de solos do projeto Jaíba, Norte Pesq. de Minas Gerais. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 24, p. 117–128, 2000.

OLIVEIRA, GE. C. de; DIAS JUNIOR, M. DE S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 291-299, 2003.

OLIVEIRA, M. I. L.; BRUNET, D.; MITJA, D.; CARDOSO, W. S.; GUIMARÃES, M. F.; BENITO, N. P. Incidence of epigeal nest-building termites in brachiaria pastures in the cerrado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.33 n.1, p 00-00, 2011.

OUÉDRAOGO, P. **Rôle des termites dans la structure et la dynamique d'une brousse tigrée soudano-sahélienne**. 1997. Thesis (Doctoral) - Université Paris 6, France.

OKWAKOL, M. J. N. Effects of *Cubitermes testaceus* (Williams) on some physical and chemical properties of soil in a grassland area of Uganda. **Afr. J. Ecol.**, v. 25, p. 142–153, 1987.

PERNA, A.; JOST, C.; COUTURIER, E.; VALVERDE, S.; DOUADY, S.; THERAULAZ, G. The structure of gallery networks in the nests of termite *Cubitermes* spp. revealed by X-ray tomography. **Naturwissenschaften**, v. 95, p. 877-884, 2008.

PITTS-SINGER, T. L.; FORSCHELER, B.T. Influence of guidelines and passageways on tunnelling behavior of *Reticulitermes flavipes* (Kollar) and *R. virginicus* (Banks) (Isoptera, Rhinotermitidae). **Journal of Insect Behavior**, v. 13, p. 273-290, 2000.

POMEROY, D. E. Some effects of mound-building termite on soil in Uganda. **J. Soil Sci.** v. 27, n. 3, p. 377–394, 1976.

PUCHE, H.; SU, N.-Y. Tunneling formation by *Reticulitermes flavipes* and *Coptotermes formosanus* (Isoptera: Rhinotermitidae) in response to wood in sand. **J. Econ. Entomol.** v. 94, p. 1398-1404, 2001.

REATTO, A.; BRUAND, A.; MARTINS, E. S.; MULLER, F.; SILVA, E. M.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; BROSSARD, M.; RICHARD, G. Development and origin of the microgranular structure in latosols of the Brazilian Central Plateau: Significance of texture, mineralogy, and biological activity. **Catena**, v. 76, p. 122-134, 2009.

REDFORD, K. The termitaria of *Cornitermes cumulans* (Isoptera, Termitidae) and their role in determining a potential keystone species. **Biotropica**, v. 16, n. 2, p. 112-119, 1984.

REINHARD, J.; HERTEL, H.; KAIB, M. Systematic search for food in the subterranean termite *Reticulitermes santonensis* De Feytaud (Isoptera, Rhinotermitidae). **Insectes Sociaux**, v. 44, p. 147-158, 1997.

RIGHI, G. Sobre a família Glossoscolecidae (Oligochaeta) no Brasil. **Archos. Zool. Est. S. Paulo**, v. 20, n. 1, p.1-95, 1971.

ROOSE, E. **Contribution à l'étude de l'influence de la mésofaune sur la pédogénèse actuelle en milieu tropical**, Adiopodoumé: Rapport ORSTOM, 1976.

_____. **Dynamique actuelle de sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale: étude expérimentale des transferts hydrologiques et biologiques de matières sous végétations naturelles ou cultivées.** 1981. Thèse (Doctorat d'Etat ès Sciences) - Université d'Orléans, Paris.

ROOSE, C. J.; WOOD, A. W. Some environmental factors affecting earthworm populations and sweet potato production in the Tari Basin, Papua, New Guinea. **Agric. J.**, v. 31, p. 1-13, 1980.

ROSA, C. S.; MARINS, A.; DESOUZA, O. Interactions Between Beetle Larvae and their Termite Hosts (Coleoptera; Isoptera, Nasutitermitinae). **Sociobiology**, v. 51, n. 1, p. 197-197, 2008.

RÜCKAMP, D.; AMELUNG, W.; THEISZ, N.; BANDEIRA, A. G.; MARTIUS, C. Phosphorus forms in Brazilian termite nests and soils: Relevance of feeding guild and ecosystems. **Geoderma**, p. 155, 269–279, 2010.

SANDS, W. A. Termite distribution in man-modified habitats in West Africa, with special reference to species segregation in the genus *Trinervitermes* (Isoptera, Termitidae, Nasutitermitinae). **Journal of Animal Ecology**, v. 34, n. 3, p. 557-571, 1965.

SANO, E. E.; BARCELLOS, A. O.; BEZERRA, H. S. Assessing the spatial distribution of cultivated pastures in the Brazilian savanna. **Pasturas Tropicales**, v. 22, p. 2–15, 2000.

SARCINELLI, T. S.; SCHAEFER, C. E. G.R.; LYNCH, L. S.; ARATO, H. D.; VIANA, J. H. M.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; GONÇALVES, T. T. Chemical, physical and micromorphological properties of termite mounds and adjacent soils along a toposequence in Zona da Mata, Minas Gerais State, Brazil. **Catena**, v. 76, p. 107–113, 2009.

SCHAEFER, C. E. R. Brazilian latosols and their B horizon microstructure as long-term biotic constructs. **Australian Journal of Soil Research**, v. 39, n. 5, p. 909, 2001.

SCHAEFER, C. E. G. R.; FABRIS, J. D.; KER, J. C. Minerals in the clay fraction of Brazilian Latosols (Oxisols): a review. **Clay Minerals**; v. 43; n. 1; p. 137-154. 2008.

SILVA, R. F.; AQUINO, A. M.; MERCANTE, F. M.; GUIMARÃES, M. F. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da Região do Cerrado. **Pesq. agropec. bras.**, v. 41, n. 4, p.697-704, abr. 2006.

SILVESTRI, F. Primo contributo Alla conoscenza dei Termitofili viventi com species de Syntermes. **Comm. Pont. Aca.** v. 9, p. 515-59, 1945.

SMEATHMAN, H. Some account of the termites which are found in Africa and other hot climates. Phil. Trans. **R. Soc. Lond.**, v. 61, p. 189-192, 1781.

STOOPS, G. Application of some pedological methods to the analysis of termite mounds. In: COLL. INT. UNESCO:Etude Sur Les Termites Africains, 1964, PARIS: Masson éd, 1964. p. 379-398.

- SYS, C. The importance of termites in the formation of Latosols in the region of Elizabethville. **Sols Africains**, v. 3, p. 392-395, 1955.
- STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V. L. Penetrômetro de impacto IAA/Planalsucar-STOLF (Recomendações para seu uso). **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 3, p. 18-23, 1983.
- STOLF, R. Teorias e testes experimentais de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, p. 229-235, 1991.
- TARDY, Y.; ROQUIN, C. Geochemistry and evolution of lateritic landscapes. **Weathering, Soils, Paleosols**, ORSTOM, n. 37.560, corte B, 1992. Fonds Documentaire.
- TAYLOR, H.M., ROBERTSON, G.M., PARKER, J.J. Soil strength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. **Soil Science**, New York, v. 102, p. 18-22, 1966.
- TESSIER, F. Termitières fossiles dans la latérite de Dakar (Sénégal) Remarques sur les structures latéritiques. **Ann. Fac. Sci. Univ. Dakar**, tome 4, 1959.
- THERAULAZ, G.; BONABEAU, E.; DENEUBOURG, J. L. The origin of nest complexity in social insects. **Complexity**, v. 3, p. 15-25, 1998.
- THERAULAZ, G.; GAUTRAIS, J.; CAMAZINE, S.; DENEUBOURG, J. L. The formation of spatial patterns in social insects: from simple behaviours to complex structures. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 361, p. 1263-1282, 2003.
- TORALES, G. T. Contribución al conocimiento de los termitas de Argentina (Pcia. de Corrientes). *Nasutitermes fulviceps* (Isoptera: Termitidae). I. Comportamiento constructor en condiciones de laboratorio. **Facena**, v. 3, p. 119-133, 1979.
- TORMENA, C. A., SILVA, A. P., LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 573-581, 1998.
- TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Soil physical quality of a Brazilian Oxisol under two tillage systems using the least limiting water range approach. **Soil Till. Res.**, v. 52, p. 223-232, 1999.
- TRAPNELL, C. G.; WEBSTER, R. Microaggregates in red earths and related soils in East and Central Africa, their classification and occurrence. **Journal of Soil Science**, v. 37, p. 109-123, 1986.
- TUCKER, C. L.; KOEHLER, P. G.; OI, F. M. Influence of soil compaction on tunnel network construction by the Eastern subterranean termite (Isoptera: Rhinotermitidae), **Journal of Economic Entomology**, v. 97, p. 89-94, 2004.

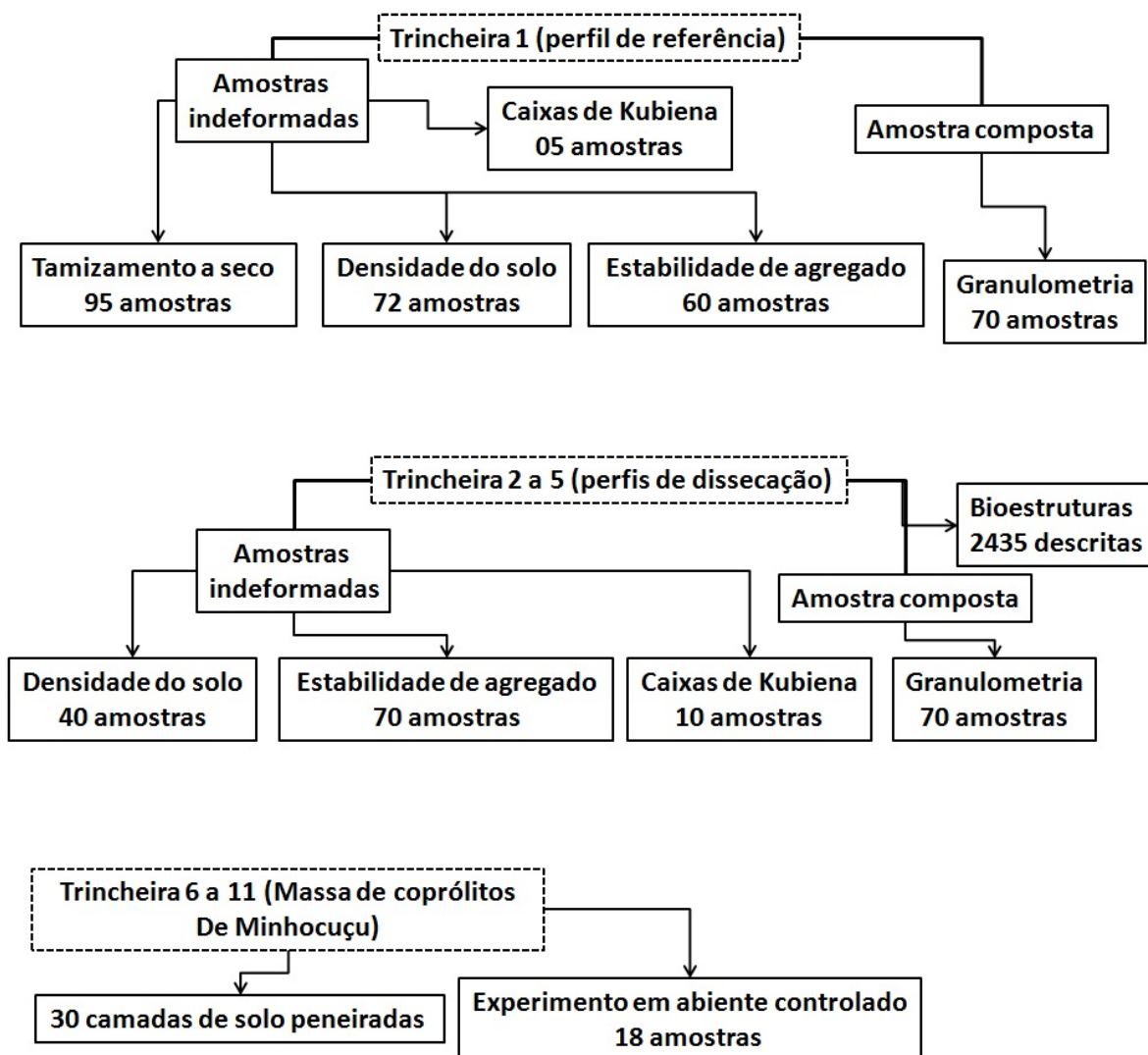
- VENDRAME, P. R. S.; MARCHÃO, R. L.; BRITO, O. R.; GUIMARÃES, M. F.; BECQUER, T. Relationship between macrofauna, mineralogy and exchangeable calcium and magnesium in Cerrado Oxisols under pasture. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 44, n. 8, p. 996-1001, 2009.
- VERHEYE, W.; STOOPS, G. Nature and evolution of soils developed on the granite complex in the subhumid tropics (Ivory Coast). II. Micromorphology and mineralogy. **Pedologie**, v. 25, p. 40-55, 1975.
- VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I. F. Relações material de origem / solo e pedogênese em uma seqüência de solos predominantemente argilosos e latossólicos sobre psamitos na depressão periférica paulista. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 23, p. 357-369, 1999.
- VIDAL-TORRADO, P.; MACIAS, F.; CALVO, R.; CARVALHO, S. G.; SILVA, A. C. Gênese de solos derivados de rochas ultramáficas serpentinizadas no sudoeste de minas gerais. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 30, p. 523-541, 2006.
- VILELA, E. F.; SANTOS, I.A.; SCHOEREDER, J. H.; SERÃO, J. E.; CAMPOS, L. A. O.; LINO-NETO, J. **Insetos sociais: da biologia à aplicação**. Viçosa: UFV, 2008.
- VOLLAND-TUDURI, N., BROSSARD, M., BRUAND, A., GARREAU, H. Direct analysis of microaggregates shrinkage for drying: application to microaggregates from a Brazilian clayed Ferralsol. **C. R. Acad. Sci. Paris**, v. 336, p. 1017–1024, 2004.
- VOLLAND-TUDURI, N.; BRUAND, A.; BROSSARD, M.; BALBINO, L. C.; OLIVEIRA, M. I. L.; MARTINS, E. S. Mass proportion of microaggregates and bulky density in a Brazilian clayed Oxisol. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 69, p. 1559–1564, 2005.
- WARDLE, D.A. *Communities and Ecosystems: linking the aboveground and belowground components (MPB-34)*. 2002. Monographs (Population Biology) - Princeton University Press, Princeton.
- VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I. F. Relações material de origem / solo e pedogênese em uma seqüência de solos predominantemente argilosos e latossólicos sobre psamitos na depressão periférica paulista. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 23, p. 357-369, 1999.
- WOLTERS, V. Invertebrate control of soil organic matter stability. **Biology and Fertility of Soils**, v. 31, p. 1-19, 2000.
- WOOD, T. G.; SANDS, W. A. The role of termites in ecosystems. In: BRIAN, M. V. (Ed.). **Production ecology of ants and termites**. Cambridge: University Press, 1978. p. 245-292.
- WOOD, T. G. Termites and the soil environment. **Biology and Fertility of Soils**, v. 6, n. 3, p. 228-236, 1988.
- _____. The agricultural importance of termites in the tropics. **Agric Zool Rev.**, v. 7, p. 117-146, 1996.
- YOUNG, I. et al. The interaction of soil biota and soil structure under global change. **Global Change Biology**, v. 4, p. 703-712, 1998.

APÊNDICES

APÊNDICE A

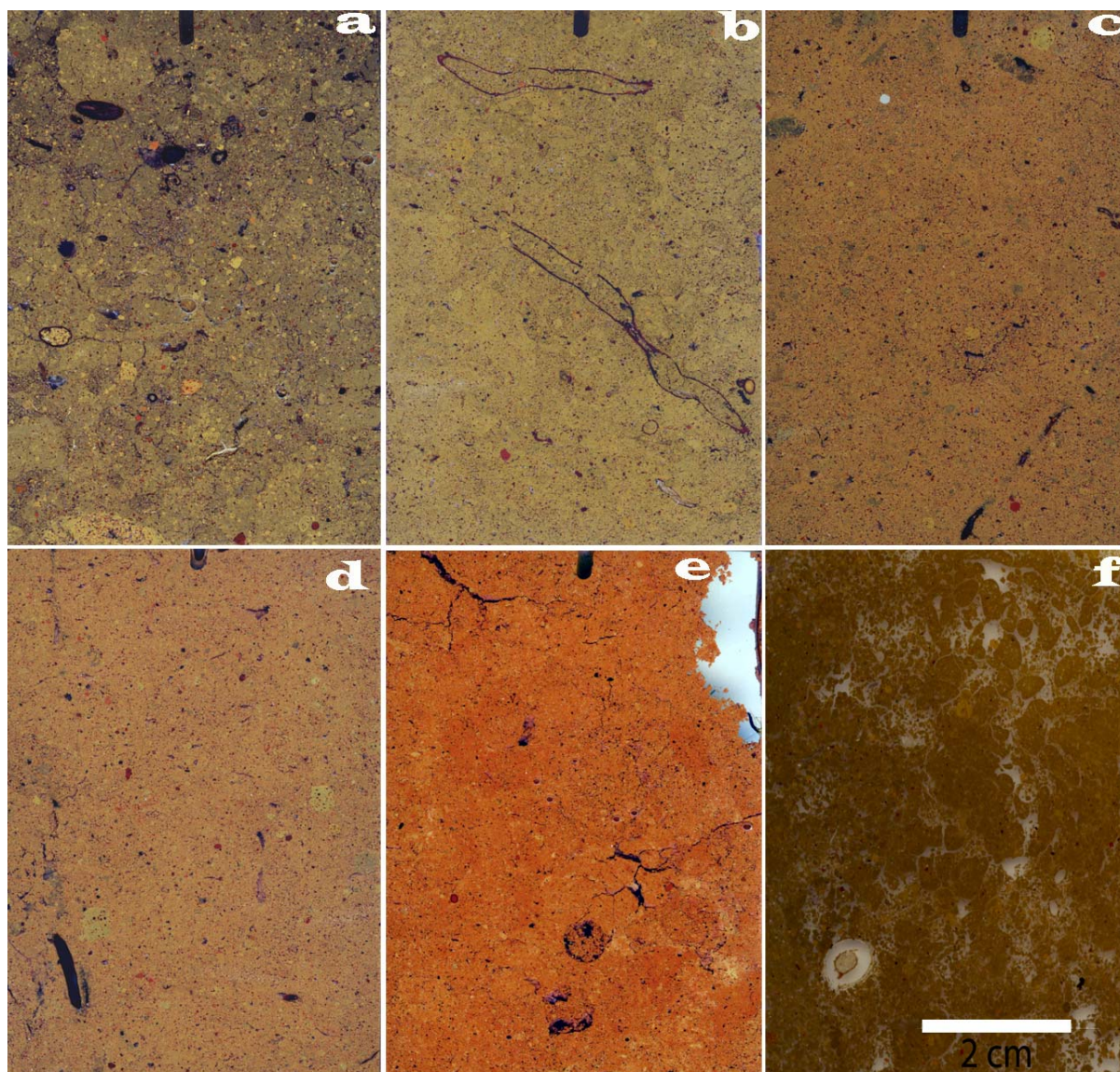
Esquema de amostragem e descrição Morfológica do Perfil de Referência

A.1. Esquema de amostragens e destino analíticos



A.2. Descrição morfológica do perfil de referência.

Horizonte	Profundidade (cm)	Descrição
A	00 - 10	Marrom escuro amarelado (3/4 10YR, úmido): uma fina camada de solo solto fino na superfície, abaixo uma camada de 2 cm adensada (selamento superficial) devido ao pisoteio animal. Na camada de 3 – 10 cm o solo é bastante estruturado, com agregados de \pm 2 cm (coprólitos de minhocoçu) e de 1 mm, os agregados menores dão origem a agregados maiores, formando blocos abundante, subangulares e granulares muito pequeno; duro, muito firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso. Forte presença de excrementos de larvas de coleóptero e numerosas raízes.
A	10 - 20	Marrom escuro (4/3 10YR, úmido): Camada bastante estruturada, presença de excrementos de larvas de coleóptero e coprólitos de minhocoçu. Presença de pequenas galerias de <i>Apicotermatinae</i> e formigas (1 a 2 mm). Presença de raízes e galerias de coleópteros (\varnothing = 2 cm) que chegam até a superfície do solo.
AB	20 - 30	Marrom amarelado (5/8 10 YR, úmido): consiste de uma faixa horizontal contínua maciça e adensada, onde começa a zona de transição entre marrom escuro para amarelo, poucos agregados formando blocos subangulares pequenos e médios, friável, plástico e pegajoso. A presença de coprólitos de minhocoçu é mais visível.
BA	30 - 40	Marrom amarelado (5/8 10 YR, úmido): camada de transição, com volume de solo solto constituído por terra fina, solo pulverizado, agregados e torrões de tamanhos variados de 0,1 a 2 cm sem nenhuma coesão formando blocos subangulares pequenos, fracos, friável, plástico e pegajoso.
BA	40 - 100	Amarelo avermelhado (6/8 7.5 YR, úmido): Nesta camada começa o aparecimento de microagregados amarelos (“pó de café”), abundância de blocos granular, pequeno a muito pequeno, ligeiramente friável, plástico e pegajoso; presença de coprólitos de minhocoçu mais visível. Nesta camada ainda são encontradas galerias de <i>Cornitermes Cumulans</i> , forte presença de pequenas galerias não identificadas, que são encontradas até 200 cm de profundidade, conferindo a esta camada o aspecto de “esponja”
BW2	100 - 200	Marrom forte (5/8 7.5 YR, úmido): Abundância de blocos granular pequeno a muito pequeno, ligeiramente friável, plástico e pegajoso. A partir de 100 cm o solo começa a ficar mais úmido (na capacidade de campo), e a partir de 140 cm começa a área mosqueada, onde o solo é amarelado com manchas vermelhas. A 185 cm se inicia a camada de transição entre amarelo e vermelho.
BW3	200 - 300	Vermelho-Amarelo (5/8 5 YR, úmido): a partir daqui o solo é vermelho com presença de estruturas pedológicas argilosas, de cor vermelho (10YR5/8) e dura. Nesta profundidade o solo é bastante úmido. Abundância de blocos granular pequeno a muito pequeno, muito friável, plástico e muito pegajoso.



A.3. Foto de blocos de solo do perfil de referência impregnados com resina: a) 0 - 10 cm; b) 40 - 50 cm; c) 80 - 90 cm; d) 160 - 170 cm; e) 270 - 280 cm; f) Lamina 0 - 10 cm de profundidade.

APÊNDICE B

Atributos físicos: Estabilidade de agregados e distribuição da percentagem de agregados a seco

B.1. Estabilidade de agregados, diâmetro médio geométrico e diâmetro médio ponderado.

Amostra	Prof. (cm)	Classe do tamanho dos agregados (mm)						Peso total (g)	DMG	DMP
		2	1	0.5	0.25	0.106	< 0.1060			
1	0 - 10	43.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.0	50.0	3.8	4.4
2	0 - 10	41.0	2.5	2.5	3.0	1.0	0.0	50.0	3.4	4.2
3	0 - 10	45.0	1.5	0.5	1.0	0.5	1.5	50.0	3.8	4.6
4	0 - 10	44.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.5	50.0	4.0	4.5
5	0 - 10	39.0	5.5	3.0	2.0	1.0	0.0	50.5	3.3	4.1
6	0 - 10	34.0	3.5	1.5	1.0	0.5	9.5	50.0	1.7	3.5
7	0 - 10	40.0	5.0	2.5	1.5	1.0	0.0	50.0	3.5	4.2
8	0 - 10	35.5	8.0	3.0	2.0	1.0	0.5	50.0	3.0	3.9
9	0 - 10	44.5	4.5	0.5	0.0	0.0	0.5	50.0	4.2	4.6
10	0 - 10	38.5	5.0	3.5	2.0	1.0	0.0	50.0	3.3	4.1
11	0 - 10	33.0	9.0	0.5	2.5	1.5	3.5	50.0	2.3	3.6
12	10 - 20.	43.5	2.5	2.0	1.0	0.5	0.5	50.0	3.8	4.5
13	10 - 20.	46.5	1.5	1.0	0.5	0.5	0.0	50.0	4.4	4.7
14	10 - 20.	46.5	0.5	0.5	0.0	0.0	2.5	50.0	3.9	4.7
15	10 - 20.	47.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0.0	50.0	4.4	4.8
16	10 - 20.	45.5	3.0	0.5	0.5	0.5	0.0	50.0	4.3	4.7
17	10 - 20.	43.5	5.5	0.5	0.5	0.0	0.0	50.0	4.2	4.5
18	10 - 20.	42.5	5.5	1.0	0.5	0.5	0.0	50.0	4.0	4.4
19	10 - 20.	44.5	4.0	0.5	0.5	0.0	0.5	50.0	4.1	4.6
20	10 - 20.	47.0	2.5	0.5	0.0	0.0	0.0	50.0	4.6	4.8
21	10 - 20.	47.5	1.5	0.5	0.5	0.5	0.0	50.5	4.5	4.8
22	10 - 20.	46.0	2.5	0.5	0.5	0.0	0.5	50.0	4.3	4.7
23	20 - 30	48.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.0	50.0	4.7	4.9
24	20 - 30	45.5	2.0	1.5	0.5	0.5	0.0	50.0	4.2	4.6
25	20 - 30	38.5	0.5	0.5	0.5	0.5	9.5	50.0	1.9	3.9
26	20 - 30	45.0	3.0	1.0	0.5	0.5	0.0	50.0	4.2	4.6
27	20 - 30	49.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.5	50.0	4.7	4.9
28	20 - 30	46.5	2.0	0.5	0.5	0.5	0.0	50.0	4.4	4.7
29	20 - 30	39.5	5.0	2.5	2.0	1.0	0.0	50.0	3.4	4.2
30	20 - 30	46.0	3.0	0.5	0.5	0.5	0.0	50.5	4.3	4.7
31	20 - 30	47.5	1.5	0.5	0.0	0.0	0.5	50.0	4.5	4.8
32	20 - 30	46.0	2.5	0.5	0.5	0.5	0.0	50.0	4.4	4.7
33	20 - 30	45.0	0.5	0.5	0.5	0.5	4.0	51.0	3.2	4.4
34	30 - 40	42.5	2.5	2.5	1.5	1.0	0.0	50.0	3.7	4.4
35	30 - 40	46.0	0.5	1.0	1.0	1.0	0.5	50.0	4.0	4.6
36	30 - 40	44.0	2.5	1.5	1.0	1.0	0.0	50.0	4.0	4.5
37	30 - 40	44.5	4.0	0.5	0.5	0.5	0.0	50.0	4.2	4.6
38	30 - 40	47.5	1.5	0.5	0.5	0.0	0.0	50.0	4.6	4.8
39	30 - 40	44.5	3.5	1.0	0.5	0.5	0.0	50.0	4.2	4.6
40	30 - 40	38.5	6.0	2.5	1.5	1.0	0.5	50.0	3.3	4.1
41	30 - 40	47.5	1.5	0.5	0.5	0.0	0.0	50.0	4.6	4.8
42	30 - 40	30.5	6.0	2.0	1.0	0.5	10.0	50.0	1.5	3.3
43	30 - 40	35.5	9.0	2.5	1.5	1.5	0.0	50.0	3.1	3.9

Continuação...

Amostra	Prof. (cm)	Classe do tamanho dos agregados (mm)						Peso total (g)	DMG	DMP
		2	1	0.5	0.25	0.106	< 0.1060			
44	30 - 40	40.5	4.5	2.0	2.0	1.0	0.0	50.0	3.5	4.2
45	40 - 50	41.5	2.5	2.5	2.5	1.5	0.0	50.5	3.4	4.2
46	40 - 50	40.0	2.0	2.5	2.5	3.0	0.0	50.0	3.1	4.1
47	40 - 50	31.5	5.0	4.0	4.5	4.0	1.0	50.0	2.1	3.4
48	40 - 50	34.5	7.0	3.5	3.0	1.5	0.5	50.0	2.7	3.7
49	40 - 50	45.0	2.5	1.0	1.0	0.5	0.0	50.0	4.2	4.6
50	40 - 50	42.0	4.0	1.5	1.5	1.0	0.0	50.0	3.7	4.4
51	40 - 50	45.0	3.5	1.0	0.5	0.5	0.0	50.5	4.2	4.6
52	40 - 50	39.5	5.0	3.0	2.0	1.0	0.0	50.5	3.3	4.1
53	40 - 50	27.0	9.0	4.0	5.5	4.0	0.5	50.0	1.9	3.1
54	40 - 50	23.5	12.0	5.5	5.0	3.5	0.5	50.0	1.8	2.8
55	40 - 50	41.0	4.5	2.0	1.5	1.0	0.0	50.0	3.6	4.3
56	50 - 60	44.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.5	50.0	4.0	4.5
57	50 - 60	44.0	1.5	1.5	1.5	1.5	0.0	50.0	3.8	4.5
58	50 - 60	35.0	4.0	3.5	3.5	3.0	1.0	50.0	2.5	3.7
59	50 - 60	33.0	6.0	4.5	4.0	2.5	0.0	50.0	2.5	3.6
60	50 - 60	44.5	2.0	1.5	1.0	1.0	0.0	50.0	4.0	4.5
61	50 - 60	37.5	7.0	3.0	1.5	1.0	0.0	50.0	3.3	4.0
62	50 - 60	37.5	7.5	2.5	1.5	1.0	0.0	50.0	3.3	4.0
63	50 - 60	25.5	9.0	4.5	5.5	4.5	1.0	50.0	1.7	2.9
64	50 - 60	30.5	8.0	4.5	4.0	2.0	1.0	50.0	2.3	3.4
65	50 - 60	35.5	4.5	3.5	3.5	2.5	0.5	50.0	2.7	3.8
66	60 - 70	39.0	4.5	2.5	2.5	1.5	0.0	50.0	3.2	4.1
67	60 - 70	18.0	5.5	5.5	5.0	4.5	11.5	50.0	0.7	2.1
68	60 - 70	40.0	3.0	2.5	2.5	2.5	0.0	50.5	3.2	4.1
69	60 - 70	40.5	2.0	1.5	2.5	2.0	1.5	50.0	3.0	4.2
70	60 - 70	29.5	7.5	5.0	5.0	3.0	0.0	50.0	2.2	3.3
71	60 - 70	37.0	6.5	2.5	2.0	2.0	0.0	50.0	3.1	4.0
72	60 - 70	39.0	5.0	2.5	2.0	1.0	0.5	50.0	3.2	4.1
73	60 - 70	29.0	8.0	3.5	4.0	3.5	2.0	50.0	1.9	3.2
74	60 - 70	34.5	9.0	2.5	2.5	1.5	0.0	50.0	2.9	3.8
75	60 - 70	36.0	5.0	3.0	3.0	2.0	1.0	50.0	2.7	3.8
76	60 - 70	37.5	5.0	3.0	2.5	2.0	0.0	50.0	3.0	4.0
77	70 - 80	32.0	4.0	3.5	4.5	4.5	1.5	50.0	2.0	3.4
78	70 - 80	38.5	3.5	2.5	3.0	2.5	0.0	50.0	3.0	4.0
79	70 - 80	42.0	2.0	2.0	2.0	1.5	0.5	50.0	3.4	4.3
80	70 - 80	38.5	5.5	2.5	2.5	1.5	0.0	50.5	3.2	4.0
81	70 - 80	41.5	4.0	1.5	1.5	1.0	0.5	50.0	3.5	4.3
82	70 - 80	39.5	5.0	2.5	2.0	1.5	0.0	50.5	3.3	4.1
83	70 - 80	37.5	7.0	2.0	2.0	1.5	0.0	50.0	3.2	4.0
84	70 - 80	40.0	4.0	1.5	2.5	1.5	0.5	50.0	3.3	4.2
85	70 - 80	35.0	6.5	3.5	3.0	2.0	0.0	50.0	2.8	3.8
86	70 - 80	26.0	9.0	4.0	5.5	4.5	1.0	50.0	1.8	3.0
87	70 - 80	23.0	8.0	3.0	3.0	2.5	10.5	50.0	1.0	2.6
88	80 - 90	33.0	9.0	3.0	3.0	2.0	0.0	50.0	2.7	3.6
89	80 - 90	35.0	3.5	3.5	4.0	3.0	1.0	50.0	2.4	3.7
90	80 - 90	42.5	2.0	1.5	2.5	2.0	0.0	50.5	3.5	4.3
91	80 - 90	38.5	2.5	2.5	3.0	2.5	1.0	50.0	2.8	4.0
92	80 - 90	14.5	9.0	5.0	6.0	4.5	11.0	50.0	0.7	1.9
93	80 - 90	33.0	8.5	3.0	3.0	2.5	0.0	50.0	2.6	3.6

Continuação...

Amostra	Prof. (cm)	Classe do tamanho dos agregados (mm)						Peso total (g)	DMG	DMP
		2	1	0.5	0.25	0.106	< 0.1060			
95	80 - 90	33.0	9.0	3.0	3.0	2.0	0.0	50.0	2.7	3.6
96	80 - 90	34.0	6.5	3.0	3.0	2.5	1.0	50.0	2.5	3.7
97	80 - 90	34.5	6.5	3.0	3.0	2.0	1.0	50.0	2.6	3.7
98	80 - 90	32.5	7.0	3.5	3.5	2.5	1.0	50.0	2.4	3.5
99	80 - 90	34.0	8.0	3.0	2.5	2.0	0.5	50.0	2.7	3.7
100	90 - 100	33.5	4.0	3.5	4.5	4.5	0.0	50.0	2.3	3.6
101	90 - 100	44.0	2.0	1.5	1.5	1.5	0.0	50.5	3.8	4.5
102	90 - 100	37.5	3.0	3.0	3.5	3.0	0.0	50.0	2.8	3.9
103	90 - 100	26.5	8.0	4.5	6.0	4.0	1.0	50.0	1.8	3.0
104	90 - 100	41.5	5.0	1.5	1.0	1.0	0.0	50.0	3.7	4.3
105	90 - 100	42.5	4.0	1.0	1.0	1.0	0.5	50.0	3.7	4.4
106	90 - 100	29.5	8.5	4.5	4.0	3.0	0.5	50.0	2.2	3.3
107	90 - 100	45.0	3.0	1.0	0.5	0.5	0.0	50.0	4.2	4.6
108	90 - 100	43.0	3.5	1.5	1.5	1.0	0.0	50.5	3.8	4.4
109	90 - 100	23.0	9.5	2.5	2.0	2.0	11.0	50.0	1.0	2.7
110	90 - 100	27.5	7.5	4.0	5.0	4.5	1.5	50.0	1.8	3.1
111	100 - 110	39.0	4.0	2.0	3.0	2.0	0.0	50.0	3.2	4.1
112	110 - 120	44.0	3.0	1.0	1.0	1.0	0.0	50.0	4.0	4.5
113	120 - 130	44.5	3.5	1.0	0.5	0.5	0.0	50.0	4.2	4.6
114	130 - 140	40.5	4.5	2.5	1.5	1.5	0.0	50.5	3.4	4.2
115	140 - 150	15.0	9.0	4.5	4.0	4.5	13.0	50.0	0.6	1.9
116	150 - 160	24.0	10.5	5.0	4.0	4.5	2.0	50.0	1.6	2.8
117	160 - 170	19.5	12.5	5.5	5.0	5.0	2.5	50.0	1.3	2.5
118	170 - 180	28.5	8.5	4.0	3.0	4.0	2.0	50.0	1.9	3.2
119	180 - 190	38.5	5.0	2.5	2.0	1.5	0.5	50.0	3.1	4.1
120	190 - 200	36.5	5.0	3.0	2.0	2.0	1.5	50.0	2.7	3.9
121	200 - 210	36.5	5.5	4.0	2.0	1.5	0.5	50.0	2.9	3.9
122	210 - 220	38.0	4.5	2.5	2.5	2.0	0.5	50.0	3.0	4.0
123	220 - 230	28.0	8.0	4.0	3.0	4.0	3.0	50.0	1.8	3.1
124	230 - 240	38.5	4.5	2.0	1.5	2.0	1.5	50.0	2.9	4.0
125	240 - 250	31.5	7.5	3.5	3.0	3.0	1.5	50.0	2.2	3.5
126	250 - 260	39.5	4.0	2.0	1.5	2.0	1.0	50.0	3.1	4.1
127	260 - 270	42.0	3.5	2.0	1.0	1.0	0.5	50.0	3.6	4.3
128	270 - 280	44.5	3.0	1.0	0.5	0.5	0.5	50.0	4.0	4.6
129	280 - 290	43.5	2.5	1.5	1.0	1.0	0.5	50.0	3.8	4.5
130	290 - 300	46.0	2.5	0.5	0.5	0.5	0.0	50.0	4.4	4.7

B.2. Distribuição das frações granulométricas de agregados obtidas pelo método do tamisamento a seco.

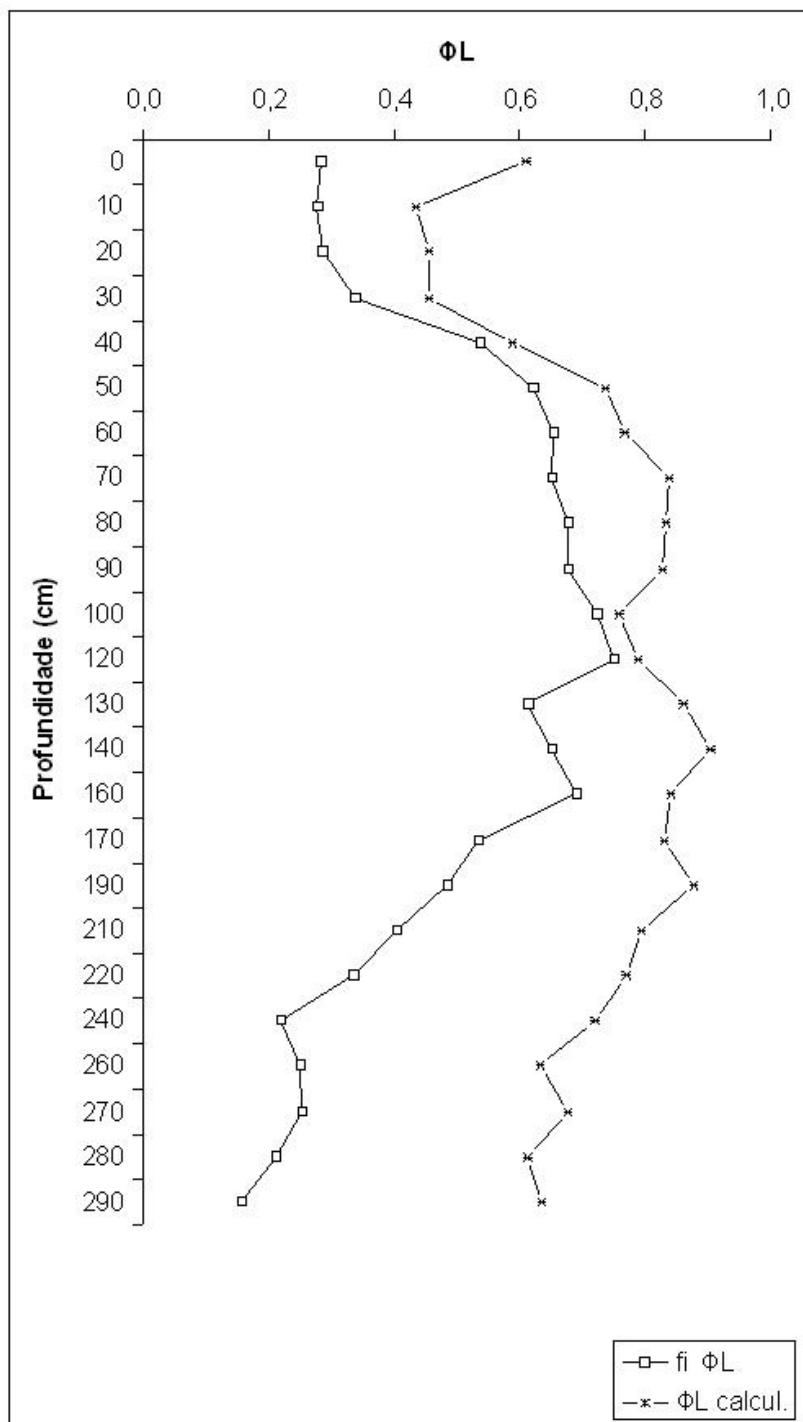
Amostra	Prof.(cm)	Tamanho da fração dos agregados (mm)					
		> 19.1	> 4	> 2	> 0.84	> 0.25	< 0.25
1	0 - 10	121	370	139	255	355	42
2	0 - 10	159	342	165	207	290	31
3	0 - 10	95	412	163	242	328	44
4	0 - 10	167	317	146	248	275	42
	média	140	356	154	245	309	42
5	10. - 20	15	301	233	287	348	49
6	10. - 20		342	241	341	287	47
7	10. - 20	34	442	222	289	282	49
8	10. - 20	28	347	215	300	290	40
	média	28	345	227	295	289	48
9	20 - 30	38	376	243	274	293	53
10	20 - 30	7	316	227	254	254	57
11	20 - 30	21	303	236	308	333	57
12	20 - 30		397	224	247	236	43
	média	21	346	232	264	274	55
13	30 - 40		248	226	294	410	56
14	30 - 40	11	281	190	249	446	60
15	30 - 40	12	192	167	255	507	66
16	30 - 40	57	383	180	247	31	51
	média	12	264	185	252	428	58
17	40 - 50	4	137	126	248	605	62
18	40 - 50	6	193	115	213	591	67
19	40 - 50	12	179	110	234	558	69
20	40 - 50	15	227	121	202	469	65
	média	9	186	118	223	575	66
21	50 - 60	20	169	98	198	611	67
22	50 - 60		85	74	167	735	81
23	50 - 60	23	238	123	186	554	73
24	50 - 60		112	82	187	671	72
	média	21	140	90	187	641	73
25	60 -70		93	65	158	707	73
26	60 -70		243	97	147	557	88
27	60 -70		81	72	207	697	89
28	60 -70	24	126	68	172	661	68
	média	24	110	70	165	679	81
29	70 - 80		102	57	178	776	62
30	70 - 80	11	183	106	163	603	72
31	70 - 80		67	68	163	713	77
32	70 - 80		99	65	155	367	69
	média	11	101	67	163	658	70
33	80 - 90		53	43	137	733	70
34	80 - 90		226	86	176	642	67
35	80 - 90		122	73	144	649	74
36	80 - 90	68	102	59	145	631	70
	média	68	112	66	145	645	70

Continuação.....

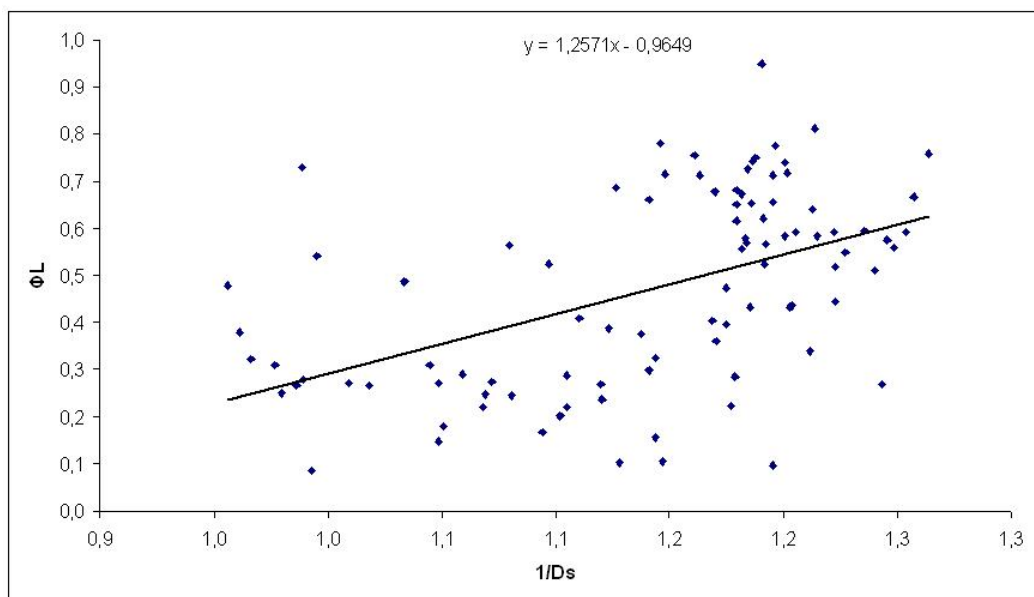
Amostra	Prof.(cm)	Tamanho da fração dos agregados (mm)					
		> 19.1	> 4	> 2	> 0.84	> 0.25	< 0.25
38	90 - 100	46	165	92	170	592	73
39	90 - 100	53	214	100	168	628	70
40	90 - 100	6	140	52	151	664	70
	média	46	152	72	159	646	72
41	1.00	53	142	74	108	569	151
42	1.00	18	69	78	132	743	106
43	1.00		80	65	138	776	116
	média	35	80	74	132	743	116
44	1.20		70	63	123	665	124
45	1.20	9	98	43	110	796	127
46	1.20	30	91	86	143	761	126
	média	20	91	63	123	761	126
47	1.30		144	87	144	595	8
48	1.30	10	166	93	132	623	509
49	1.30		106	82	94	708	147
	média	10	144	87	132	623	147
50	1.45	96	181	103	120	541	95
51	1.45	32	187	129	137	583	119
52	1.45		62	42	108	758	151
53	1.45	61	156	86	121	616	134
	média	61	168	95	121	600	127
54	1.60	18	148	128	133	494	127
55	1.60	37	220	141	146	531	126
56	1.60	11	147	84	119	648	152
57	1.60		150	101	131	648	136
	média	18	149	115	132	589	132
58	1.75	13	230	139	137	443	119
59	1.75	121	218	122	131	440	91
60	1.70	66	140	99	127	569	136
61	1.70	19	238	142	141	562	32
	média	42	224	131	134	503	105
62	1.90	48	323	153	141	358	94
63	1.90	49	281	134	153	384	110
64	1.90	15	257	140	165	508	96
65	1.90	14	210	122	139	554	106
	média	31	269	137	147	446	101
66	2.10	30	306	147	160	419	71
67	2.10	80	350	135	153	350	52
68	2.10	51	391	161	154	407	86
69	2.10		353	166	162	427	96
	média	51	352	154	157	413	78
70	2.25	30	402	184	209	363	58
71	2.25	10	357	152	155	362	63
72	2.20	63	458	173	144	326	79
73	2.20	68	513	180	167	296	75
	média	46	430	177	161	344	69
74	2.40	66	435	168	151	288	62
75	2.40	74	310	157	147	344	70

Continuação...

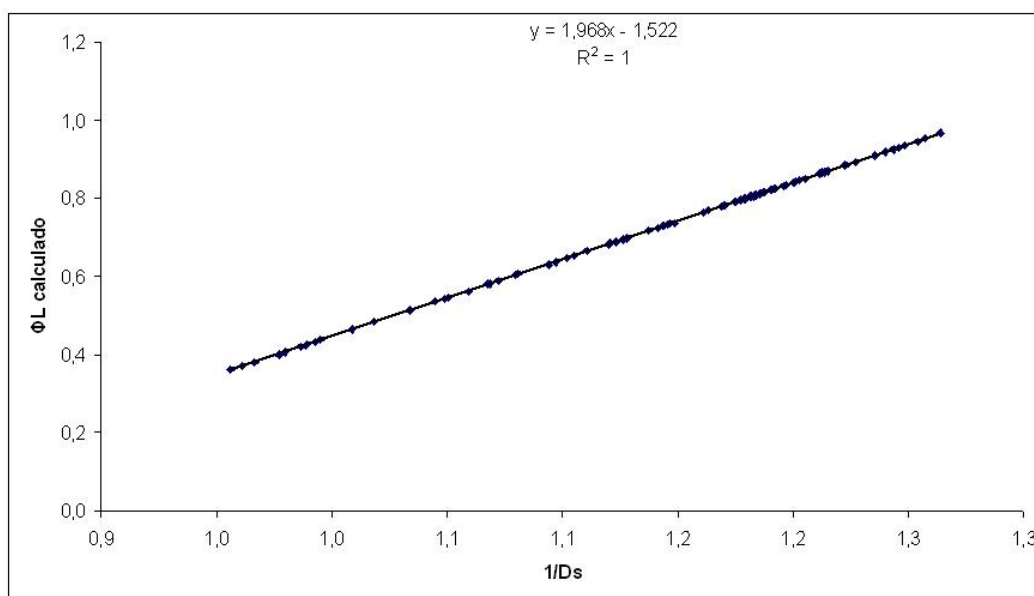
Amostra	Prof.(cm)	Tamanho da fração dos agregados (mm)					
		> 19.1	> 4	> 2	> 0.84	> 0.25	< 0.25
77	2.40	24	427	187	198	35	62
	média	70	431	171	162	162	66
78	2.60	75	422	158	158	263	46
79	2.60	55	483	189	178	236	46
80	2.60	152	601	190	170	246	71
81	2.60	189	464	156	165	298	58
	média	114	473	173	168	254	52
82	2.70	54	475	173	174	238	50
83	2.70	134	506	182	171	234	50
84	2.70	92	458	167	178	306	57
85	2.70	226	469	177	158	239	58
	média	113	472	175	172	239	53
86	2.85	107	566	187	178	211	51
87	2.85	55	548	181	168	219	50
88	2.80	44	572	186	181	264	55
89	2.80	272	539	136	116	176	58
	média	81	557	184	173	215	53
90	2.9	361	586	160	137	164	50
91	2.9	259	624	185	160	193	53
	média	310	605	172	149	178	51



B.3. Distribuição em função da profundidade dos agregados do solo de tamanho < 0,84 mm obtidos pelo tamisamento (ΦL) e pelo cálculo (ΦL calculado)



B.4. Proporção de massa de solo na fração $< 0,84$ mm (Φ_L) em função da inversa da densidade do solo ($1/D_s$). A linha indica regressão linear de Φ_L contra $1/D_s$ ($n=116$).



B.5. Φ_L calculado, comparação e validação com a equação geral de Volland-Tuduri et al., (2005)

B.3. Distribuição vertical das frações granulométricas no perfil

Amostra	Prof. (cm)	Argila	Silte	g kg ⁻¹	
				Areia Grossa	Areia Fina
1	0 - 10	700	240	40	20
2	0 - 10	680	210	40	70
3	0 - 10	730	180	40	50
4	0 - 10	720	170	40	70
5	0 - 10	610	250	50	90
6	0 - 10	700	180	40	80
7	0 - 10	690	190	30	90
8	0 - 10	820	140	20	20
9	0 - 10	820	100	20	60
10	0 - 10	820	130	20	30
11	0 - 10	810	110	20	60
12	10 - 20.	720	210	30	40
13	10 - 20.	740	170	30	60
14	10 - 20.	730	160	30	80
15	10 - 20.	720	180	30	70
16	10 - 20.	720	170	30	80
17	10 - 20.	710	180	40	70
18	10 - 20.	760	180	20	40
19	10 - 20.	670	200	40	90
20	10 - 20.	730	170	30	70
21	10 - 20.	700	200	30	70
22	10 - 20.	750	150	30	70
23	20 - 30	750	180	30	40
24	20 - 30	760	170	30	40
25	20 - 30	770	150	30	50
26	20 - 30	660	270	30	40
27	20 - 30	720	130	20	130
28	20 - 30	740	180	30	50
29	20 - 30	780	160	30	30
30	20 - 30	760	170	30	40
31	20 - 30	740	160	30	70
32	20 - 30	720	170	30	80
33	20 - 30	730	160	30	80
34	30 - 40	760	170	30	40
35	30 - 40	790	170	30	10
36	30 - 40	800	140	20	40
37	30 - 40	760	170	30	40
38	30 - 40	780	140	20	60
39	30 - 40	760	160	20	60
40	30 - 40	800	140	30	30
41	30 - 40	750	150	30	70
42	30 - 40	750	160	30	60
43	30 - 40	760	140	30	70
44	30 - 40	770	170	30	30
45	40 - 50	800	150	20	30
46	40 - 50	810	160	20	10
47	40 - 50	830	130	20	20
48	40 - 50	700	250	20	30
49	40 - 50	800	130	20	50
50	40 - 50	800	150	20	30

Continuação....

Amostra	Prof. (cm)	Argila	Silte	Areia Grossa	Areia Fina
g kg⁻¹					
51	40 - 50	800	150	30	20
52	40 - 50	790	140	20	50
53	40 - 50	790	160	20	30
54	40 - 50	780	140	20	60
55	40 - 50	770	150	30	50
56	50 - 60	800	150	20	30
57	50 - 60	760	190	20	30
58	50 - 60	820	140	20	20
59	50 - 60	810	110	20	60
60	50 - 60	830	120	20	30
61	50 - 60	810	130	20	40
62	50 - 60	790	170	20	20
63	50 - 60	790	150	20	40
64	50 - 60	800	120	20	60
65	50 - 60	810	130	20	40
66	60 - 70	810	160	20	10
67	60 - 70	830	130	20	20
68	60 - 70	810	140	20	30
69	60 - 70	820	140	20	20
70	60 - 70	780	170	20	30
71	60 - 70	820	140	20	20
72	60 - 70	820	120	20	40
73	60 - 70	800	140	20	40
74	60 - 70	810	130	20	40
75	60 - 70	820	130	20	30
76	60 - 70	800	140	20	40
77	70 - 80	820	150	20	10
78	70 - 80	820	140	20	20
79	70 - 80	830	130	20	20
80	70 - 80	820	130	20	30
81	70 - 80	820	140	20	20
82	70 - 80	820	130	20	30
83	70 - 80	830	120	20	30
84	70 - 80	710	240	20	30
85	70 - 80	770	100	20	110
86	70 - 80	820	120	20	40
87	70 - 80	820	130	20	30
88	80 - 90	810	150	20	20
89	80 - 90	820	140	20	20
90	80 - 90	810	130	20	40
91	80 - 90	810	130	20	40
92	80 - 90	820	120	20	40
93	80 - 90	830	140	20	10
94	80 - 90	840	130	20	10
95	80 - 90	810	120	20	50
96	80 - 90	800	130	20	50
97	80 - 90	770	120	20	90
98	80 - 90	800	130	20	50
99	90 - 100	810	140	20	30
100	90 - 100	800	140	20	40

Continuação....

Amostra	Prof. (cm)	Argila	Silte	Areia Grossa	Areia Fina
				g kg⁻¹	
101	90 - 100	830	130	20	20
102	90 - 100	810	140	20	30
103	90 - 100	810	130	20	40
104	90 - 100	810	130	20	40
105	90 - 100	720	220	20	40
106	90 - 100	810	130	20	40
107	90 - 100	820	120	20	40
108	90 - 100	820	110	20	50
109	90 - 100	810	150	20	20
110	100 - 110	800	120	20	60
120	110 - 120	800	130	20	50
130	120 - 130	810	130	20	40
140	130 - 140	760	130	20	90
150	140 - 150	800	130	20	50
160	150 - 160	800	140	20	40
170	160 - 170	820	150	10	20
180	170 - 180	810	150	20	20
190	180 - 190	830	140	10	20
200	190 - 200	820	150	20	10
210	200 - 210	830	130	10	30
220	210 - 220	820	140	10	30
230	220 - 230	840	150	20	0
240	230 - 240	830	150	10	10
250	240 - 250	830	160	10	0
260	250 - 260	810	140	20	30
270	260 - 270	830	130	10	30
280	270 - 280	810	130	20	40
290	280 - 290	820	140	10	30
300	290 - 300	820	130	10	40

B.4. Densidade do solo do perfil de referência (cilindro de 1300 cm³)

Amostra	Prof. (cm)	Peso seco	Ds
1	0 - 10	1244.37	0.96
2	0 - 10	1045.53	0.80
3	0 - 10	1227.25	0.94
4	0 - 10	1318.00	1.01
5	10 - 20.	1345.10	1.03
6	10 - 20.	1276.77	0.98
7	10 - 20.	1326.87	1.02
8	10 - 20.	1288.50	0.99
9	20 - 30	1239.55	0.95
10	20 - 30	1314.74	1.01
11	20 - 30	-	-
12	20 - 30	1331.00	1.02
13	30 - 40	1352.85	1.04
14	30 - 40	1170.62	0.90
15	30 - 40	1359.54	1.05
16	30 - 40	1309.50	1.01
17	40 - 50	1204.01	0.93
18	40 - 50	1100.30	0.85
19	40 - 50	1306.15	1.00
20	40 - 50	1257.70	0.97
21	50 - 60	1082.75	0.83
22	50 - 60	1132.20	0.87
23	50 - 60	1184.84	0.91
24	50 - 60	1139.20	0.88
25	60 - 70	1117.48	0.86
26	60 - 70	1098.46	0.84
27	60 - 70	1154.15	0.89
28	60 - 70	1102.30	0.85
29	70 - 80	1087.33	0.84
30	70 - 80	1052.27	0.81
31	70 - 80	1097.69	0.84
32	70 - 80	1099.00	0.85
33	80 - 90	1086.56	0.84
34	80 - 90	1063.55	0.82
35	80 - 90	1102.40	0.85
36	80 - 90	1096.40	0.84
37	90 - 100	1087.40	0.84
38	90 - 100	1069.98	0.82
39	90 - 100	1090.42	0.84
40	90 - 100	1111.30	0.85
41	100-110	1087.40	0.84
42	100-110	1095.40	0.84
43	100-110	1028.70	0.79
44	100-110	1315.40	1.01
45	110-120	1036.80	0.80
46	110-120	1113.40	0.86
47	110-120	1085.70	0.84

Continuação....

Amostra	Prof. (cm)	Peso seco	Ds
48	110-120	1055.60	0.81
49	120-130	1119.80	0.86
50	120-130	1134.70	0.87
51	120-130	1082.10	0.83
52	120-130	1094.80	0.84
53	132-145	1102.60	0.85
54	132-145	1083.10	0.83
55	132-145	1080.80	0.83
56	132-145	1034.10	0.80
57	145-160	1041.30	0.80
58	145-160	1037.00	0.80
59	145-160	1071.20	0.82
60	145-160	1072.10	0.82
61	160-170	1078.70	0.83
62	160-170	1059.50	0.82
63	160-170	1092.30	0.84
64	160-170	1100.10	0.85
65	170-180	1063.40	0.82
66	170-180	1106.70	0.85
67	170-180	1091.80	0.84
68	170-180	1090.90	0.84
69	180-190	1155.20	0.89
70	180-190	1095.60	0.84
71	180-190	1071.00	0.82
72	180-190	1047.40	0.81
73	190-200	1112.20	0.86
74	190-200	1063.40	0.82
75	190-200	1048.30	0.81
76	190-200	1043.90	0.80
77	200-210	1063.20	0.82
78	200-210	1105.30	0.85
79	200-210	1088.00	0.84
80	200-210	-	-
81	200-210	1047.90	0.81
82	200-210	-	-
83	210-220	1096.60	0.84
84	210-220	1110.80	0.85
85	210-220	1106.30	0.85
86	210-220	1148.00	0.88
87	220-230	1072.80	0.83
88	220-230	1157.30	0.89
89	220-230	1136.50	0.87
90	220-230	1102.90	0.85
91	230-240	1139.90	0.88
92	230-240	1122.10	0.86
93	230-240	1084.20	0.83
94	230-240	1117.20	0.86
95	240-250	1139.20	0.88

Continuação....

Amostra	Prof. (cm)	Peso seco	Ds
96	240-250	1142.90	0.88
97	240-250	1152.20	0.89
98	240-250	1133.50	0.87
99	250-260	1192.70	0.92
100	250-260	1184.80	0.91
101	250-260	1185.10	0.91
102	250-260	1174.50	0.90
103	260-270	1212.50	0.93
104	260-270	1160.40	0.89
105	260-270	1217.40	0.94
106	260-270	1161.00	0.89
107	270-280	1148.50	0.88
108	270-280	1216.20	0.94
109	270-280	1104.40	0.85
110	270-280	1176.50	0.91
111	280-290	1108.00	0.85
112	280-290	1176.80	0.91
113	280-290	1202.80	0.93
114	280-290	1237.30	0.95
115	290-300	1239.60	0.95
116	290-300	1188.40	0.91
117	290-300	1136.90	0.87
118	290-300	1175.70	0.90

APÊNDICE C

C.1. Dissecação dos perfis de quatro trincheiras

Tipo de estrutura	Coor- denada	prof. (cm)	D (cm)	Nº feições	Continua na fatia seguinte	Direção no perfil	P (mm)	Volume (cm ³)	V total (cm ³)	
A- Galerias de <i>Corintermes cumulans</i> com paredes bem definidas e revestimento escuro, uma fina camada (0,05 – 0,1 mm) com uma mistura de MO e argila. São vistas na face vertical do perfil, seguem na horizontal.	X-	0-10	60	1	não	Horizontal	3,77	5,027	5,027	
	Y+	10_20	0	1	não	Horizontal	3,77	5,027	5,027	
	Y+	10_20	20	1	não	Horizontal	3,77	5,027	5,027	
	Y+	10_20	30	1	não	Horizontal	3,77	5,027	5,027	
	Y+	10_20	40	1	não	Horizontal	3,77	5,027	5,027	
	Na coluna prof. (cm) 0-100 e 0-300 indica que a galeria estava embaixo do ninho.	X-	10_20	60	1	não	Horizontal	3,77	5,027	5,027
		X+	10_20	50	3	não	Horizontal	3,77	5,027	15,081
		X+	10_20	80	1	não	Horizontal	3,77	5,027	5,027
		X-	20_40	30	2	sim	Horizontal	3,77	5,027	10,054
		X-	20_40	40	2	sim	Horizontal	3,77	5,027	10,054
		X-	20_40	90	2	sim	Horizontal	3,77	5,027	10,054
		X-	20_40	100	2	sim	Horizontal	3,77	5,027	10,054
		X-	20_40	10	1	não	Horizontal	3,77	5,027	5,027
		X+	20_40	30	1	não	Horizontal	3,77	5,027	5,027
		X+	20_40	80	1	não	Horizontal	3,77	5,027	5,027
	B - Galerias de coleóptero, (<i>Coleoptera Melolonthidae</i>) sem parede definida, vazias ou preenchidas com solo retabalhado por cupins, (agregados arredondados medindo 0 0,5cm). São vistas na face vertical do	X-	40_100	80	1	não	Horizontal	3,77	5,027	5,027
X+		40_100	10	1	não	Horizontal	3,77	5,027	5,027	
		0-300	0	2		vertical	6,28	471,24	942,48	
		0-100	0	2		vertical	6,28	157,08	314,16	
		0-100	0	3		vertical	6,28	235,62	706,86	
Y+		0-10	0	1	?	difusa	6,28	31,14	31,14	
Y+	0-10	20	1	?	Horizontal	6,28	31,14	31,14		
Y-	0-10	80	2	?	Horizontal	6,28	31,14	62,28		
Y-	0-10	100	1	?	Horizontal	6,28	31,14	31,14		

perfil e se estendem na vertical e transversal até 1 m.

Y-	0-10	120	1 ?	Horizontal	6,28	31,14	31,14
X+	0-10	20	1 ?	Horizontal	6,28	31,14	31,14
Y+	10_20	40	2 ?	Horizontal	6,28	31,14	62,28
Y+	10_20	60	1 ?	Horizontal	6,28	31,14	31,14
Y+	10_20	70	1 ?	Horizontal	6,28	31,14	31,14
Y+	10_20	80	1 ?	Horizontal	6,28	31,14	31,14
Y+	10_20	150	1 ?	Horizontal	6,28	31,14	31,14
Y-	10_20	40	1 ?	Horizontal	6,28	31,14	31,14
Y-	10_20	50	1 ?	Horizontal	6,28	31,14	31,14
Y-	10_20	60	2 ?	Horizontal	6,28	31,14	62,28
Y-	10_20	70	1 ?	Horizontal	6,28	31,14	31,14
Y-	10_20	90	1 ?	Horizontal	6,28	31,14	31,14
Y-	10_20	120	1 ?	Horizontal	6,28	31,14	31,14
X-	10_20	60	1 ?	Horizontal	6,28	31,14	31,14
X+	10_20	10	1 ?	Horizontal	6,28	31,14	31,14
X+	10_20	30	1 ?	Horizontal	6,28	31,14	31,14
X+	10_20	70	1 ?	Horizontal	6,28	31,14	31,14
Y+	20_40	0	1 ?	difusa	6,28	31,14	31,14
Y+	20_40	20	3 ?	Horizontal	6,28	31,14	93,42
Y+	20_40	60	1 ?	Horizontal	6,28	31,14	31,14
Y+	20_40	90	7 ?	Horizontal	6,28	31,14	217,98
Y+	20_40	140	1 ?	Horizontal	6,28	31,14	31,14
Y+	20_40	150	7 ?	Horizontal	6,28	31,14	217,98
Y-	20_40	20	1 ?	Horizontal	6,28	31,14	31,14
Y-	20_40	40	3 ?	Horizontal	6,28	31,14	93,42
Y-	20_40	50	3 ?	Horizontal	6,28	31,14	93,42
Y-	20_40	60	3 ?	Horizontal	6,28	31,14	93,42
Y-	20_40	70	3 ?	Horizontal	6,28	31,14	93,42
Y-	20_40	80	9 ?	Horizontal	6,28	31,14	280,26
X-	20_40	30	2 ?	Horizontal	6,28	31,14	62,28
X-	20_40	40	3 ?	Horizontal	6,28	31,14	93,42
X-	20_40	60	3 ?	Horizontal	6,28	31,14	93,42
X-	20_40	80	4 ?	Horizontal	6,28	31,14	124,56
X-	20_40	100	2 ?	Horizontal	6,28	31,14	62,28
X+	20_40	20	5 ?	Horizontal	6,28	31,14	155,7

X+	20_40	30	6 ?	Horizontal	6,28	31,14	186,84
X+	20_40	40	2 ?	Horizontal	6,28	31,14	62,28
X+	20_40	70	3 ?	Horizontal	6,28	31,14	93,42
Y+	40_100	70	1 ?	Horizontal	6,28	31,14	31,14
Y+	40_100	150	2 ?	Horizontal	6,28	31,14	62,28
Y-	40_100	70	2 ?	Horizontal	6,28	31,14	62,28
Y-	40_100	80	4 ?	Horizontal	6,28	31,14	124,56
Y-	40_100	90	1 ?	Horizontal	6,28	31,14	31,14
X-	40_100	100	2 ?	Horizontal	6,28	31,14	62,28
Y+	0-10	20	2 ?	vertical	62,8	31,4	62,8
Y+	0-10	60	1 ?	vertical	62,8	31,4	31,4
Y+	0-10	80	1 ?	vertical	62,8	31,4	31,4
Y+	0-10	90	1 ?	vertical	62,8	31,4	31,4
Y+	0-10	120	1 ?	vertical	62,8	31,4	31,4
Y+	0-10	130	1 ?	vertical	62,8	31,4	31,4
Y-	0-10	20	2 ?	vertical	62,8	31,4	62,8
Y-	0-10	40	1 ?	vertical	62,8	31,4	31,4
Y-	0-10	70	1 ?	vertical	62,8	31,4	31,4
Y-	0-10	80	2 ?	vertical	62,8	31,4	62,8
Y-	0-10	90	1 ?	vertical	62,8	31,4	31,4
Y-	0-10	100	3 ?	vertical	62,8	31,4	94,2
X-	0-10	30	1 ?	transversal	62,8	62,8	62,8
X-	0-10	40	1 ?	transversal	62,8	62,8	62,8
X-	0-10	60	1 ?	transversal	62,8	62,8	62,8
X-	0-10	80	1 ?	vertical	62,8	31,4	31,4
X-	0-10	90	2 ?	vertical	62,8	31,4	62,8
X-	0-10	100	1 ?	vertical	62,8	31,4	31,4
X+	0-10	20	1 ?	vertical	62,8	31,4	31,4
X+	0-10	100	1 ?	transversal	62,8	31,4	31,4
Y+	10_20	20	1 ?	vertical	62,8	31,4	31,4
Y+	10_20	60	1 ?	vertical	62,8	31,4	31,4
Y+	10_20	70	1 ?	vertical	62,8	157	157
Y+	10_20	80	1 ?	vertical	62,8	188,4	188,4
Y+	10_20	90	1 ?	vertical	62,8	31,4	31,4
Y+	10_20	120	1 ?	vertical	62,8	31,4	31,4

Y+	10_20	130	1 ?	vertical	62,8	31,4	31,4
Y-	10_20	20	3 ?	vertical	62,8	31,4	94,2
Y-	10_20	40	3 ?	vertical	62,8	31,4	94,2
Y-	10_20	70	1 ?	vertical	62,8	31,4	31,4
Y-	10_20	80	2 ?	vertical	62,8	31,4	62,8
Y-	10_20	90	1 ?	vertical	62,8	31,4	31,4
Y-	10_20	100	3 ?	vertical	62,8	31,4	94,2
X-	10_20	30	1 ?	transversal	62,8	62,8	62,8
X-	10_20	40	1 ?	transversal	62,8	62,8	62,8
X-	10_20	60	1 ?	transversal	62,8	62,8	62,8
X-	10_20	80	1 ?	vertical	62,8	31,4	31,4
X-	10_20	90	3 ?	vertical	62,8	31,4	94,2
X-	10_20	100	1 ?	vertical	62,8	31,4	31,4
X+	10_20	20	1 ?	vertical	62,8	31,4	31,4
Y+	20_40	20	2 ?	vertical	62,8	128,46	256,92
Y+	20_40	40	1 ?	vertical	62,8	31,4	31,4
Y+	20_40	60	1 ?	vertical	62,8	62,8	62,8
Y+	20_40	70	1 ?	vertical	62,8	68,08	68,08
Y+	20_40	80	1 ?	vertical	62,8	31,4	31,4
Y+	20_40	120	1 ?	vertical	62,8	31,4	31,4
Y+	20_40	130	1 ?	vertical	62,8	62,8	62,8
Y+	20_40	150	1 ?	vertical	62,8	62,8	62,8
Y-	20_40	20	1 ?	vertical	62,8	78,5	78,5
Y-	20_40	70	1 ?	vertical	62,8	62,8	62,8
Y-	20_40	80	1 ?	vertical	62,8	62,8	62,8
Y-	20_40	100	2 ?	vertical	62,8	62,8	125,6
X-	20_40	80	1 ?	transversal	62,8	62,8	62,8
X-	20_40	90	3 ?	transversal	62,8	31,4	94,2
X-	20_40	100	1 ?	vertical	62,8	62,8	62,8
X-	20_40	100	3 ?	vertical	62,8	31,4	94,2
X+	20_40	20	1 ?	vertical	62,8	31,4	31,4
X+	20_40	30	1 ?	transversal	62,8	31,4	31,4
Y+	40_100	150	1 ?	vertical	62,8	109,9	109,9
Y-	40_100	40	1 ?	vertical	62,8	125,6	125,6
Y-	40_100	80	1 ?	vertical	62,8	94,2	94,2

	Y-	40_100	80	1 ?	vertical	62,8	62,8	62,8
	X-	40_100	80	1 ?	vertical	62,8	188,4	188,4
	X+	40_100	10	1 ?	transversal	62,8	31,4	31,4
C - Grandes câmaras preenchidas com solo solto que se prolongam por mais de 1m na transversao ou horizontal. No interior há muita matéria orgânica e um aglomerado de raiz, normalmente há galerias com paredes escuras e bem definidas de formigas não identificadas.	Y-	10_20	70	1 não	Horizontal	30	500	500
	Y+	20_40	120	1 não	difusa	48	1728	1728
	Y-	20_40	20	1 sim	Horizontal	40	3775	3775
	Y-	20_40	40	1 sim	Horizontal	56	1950	1950
	Y-	20_40	50	1 não	Horizontal	56		
	X-	20_40	40	1 sim	Horizontal	50	1000	1000
	X-	20_40	60	1 sim	Horizontal	60	6000	6000
	Y+	40_100	0	1 não	difusa	80		
	Y+	40_100	80	1 não	difusa	60		
	Y+	40_100	90	1 não	difusa	60		
	Y+	40_100	20	1 sim	Horizontal	110	7500	7500
	Y-	40_100	40	1 não	Horizontal	70	3000	3000
	Y-	40_100	80	1 não	Horizontal	30		
	X-	40_100	40	1 não	Horizontal	140		
	X-	40_100	60	1 sim	Horizontal	120	5000	5000
	X-	40_100	100	1 sim	Horizontal	50	1000	1000
	X+	40_100	20	1 sim	Horizontal	108		
	X+	40_100	30	1 sim	Horizontal	108	1500	1500
	X+	40_100	40	1 não	Horizontal	110		
X+	40_100	70	1 não	Horizontal	70			
X+	40_100	90	1 sim	Horizontal	36	800	800	
X+	40_100	100	1 sim	Horizontal	36	800	800	
D - Galerias finas de térmitas (<i>Apicotermes</i>) não identificados: Medem (r = 0,5 a 2,5 mm), são galerias que ramificam em toda a camada 0 – 30 cm de profundidade, inclusive, ao redor das cavidades de <i>Syntermes spl</i> logo abaixo ou acima da parede densa, e também aparecem formando um aglomerado de finas galerias com paredes de revestimento escuras nas áreas fofas.	Y-	0-10	20	10 ?	Horizontal	0,314	1,61	16,1
	Y-	0-10	80	30 ?	Horizontal	0,314	1,61	48,3
	Y-	0-10	90	30 ?	Horizontal	0,314	1,61	48,3
	Y-	0-10	100	30 ?	Horizontal	0,314	1,61	48,3
	X-	0-10	90	6 ?	Horizontal	0,314	1,61	9,66
	X-	0-10	100	6 ?	Horizontal	0,314	1,61	9,66
	Y+	10_20	20	10 ?	Horizontal	0,314	1,61	16,1
	Y+	10_20	30	15 ?	Horizontal	0,314	1,61	24,15

Y+	10_20	40	30 ?	Horizontal	0,314	1,61	48,3
Y+	10_20	60	15 ?	Horizontal	0,314	1,61	24,15
Y+	10_20	70	15 ?	Horizontal	0,314	1,61	24,15
Y+	10_20	80	32 ?	Horizontal	0,314	1,61	51,52
Y+	10_20	90	32 ?	Horizontal	0,314	1,61	51,52
Y+	10_20	120	32 ?	Horizontal	0,314	1,61	51,52
Y+	10_20	130	12 ?	Horizontal	0,314	1,61	19,32
Y+	10_20	140	40 ?	Horizontal	0,314	1,61	64,4
Y+	10_20	150	20 ?	Horizontal	0,314	1,61	32,2
Y-	10_20	20	40 ?	Horizontal	0,314	1,61	64,4
Y-	10_20	40	20 ?	Horizontal	0,314	1,61	32,2
Y-	10_20	50	40 ?	Horizontal	0,314	1,61	64,4
Y-	10_20	60	10 ?	Horizontal	0,314	1,61	16,1
Y-	10_20	70	20 ?	Horizontal	0,314	1,61	32,2
Y-	10_20	80	30 ?	Horizontal	0,314	1,61	48,3
Y-	10_20	90	14 ?	Horizontal	0,314	1,61	22,54
Y-	10_20	100	40 ?	Horizontal	0,314	1,61	64,4
Y-	10_20	120	20 ?	Horizontal	0,314	1,61	32,2
X-	10_20	30	20 ?	Horizontal	0,314	1,61	32,2
X-	10_20	40	60 ?	Horizontal	0,314	1,61	96,6
X-	10_20	60	10 ?	Horizontal	0,314	1,61	16,1
X-	10_20	80	10 ?	Horizontal	0,314	1,61	16,1
X-	10_20	90	40 ?	Horizontal	0,314	1,61	64,4
X-	10_20	100	16 ?	Horizontal	0,314	1,61	25,76
X+	10_20	10	8 ?	Horizontal	0,314	1,61	12,88
X+	10_20	20	9 ?	Horizontal	0,314	1,61	14,49
X+	10_20	30	16 ?	Horizontal	0,314	1,61	25,76
X+	10_20	40	15 ?	Horizontal	0,314	1,61	24,15
X+	10_20	50	15 ?	Horizontal	0,314	1,61	24,15
X+	10_20	80	15 ?	Horizontal	0,314	1,61	24,15
Y+	20_40	0	30 ?	Horizontal	0,314	1,61	48,3
Y+	20_40	20	10 ?	Horizontal	0,314	1,61	16,1
Y+	20_40	30	40 ?	Horizontal	0,314	1,61	64,4
Y+	20_40	40	40 ?	Horizontal	0,314	1,61	64,4
Y+	20_40	60	15 ?	Horizontal	0,314	1,61	24,15

Y+	20_40	70	20 ?	Horizontal	0,314	1,61	32,2
Y+	20_40	80	20 ?	Horizontal	0,314	1,61	32,2
Y+	20_40	90	20 ?	Horizontal	0,314	1,61	32,2
Y+	20_40	120	20 ?	Horizontal	0,314	1,61	32,2
Y+	20_40	130	20 ?	Horizontal	0,314	1,61	32,2
Y+	20_40	140	50 ?	Horizontal	0,314	1,61	80,5
Y+	20_40	150	40 ?	Horizontal	0,314	1,61	64,4
Y-	20_40	20	40 ?	Horizontal	0,314	1,61	64,4
Y-	20_40	40	40 ?	Horizontal	0,314	1,61	64,4
Y-	20_40	50	40 ?	Horizontal	0,314	1,61	64,4
Y-	20_40	60	40 ?	Horizontal	0,314	1,61	64,4
Y-	20_40	70	40 ?	Horizontal	0,314	1,61	64,4
Y-	20_40	80	40 ?	Horizontal	0,314	1,61	64,4
Y-	20_40	90	40 ?	Horizontal	0,314	1,61	64,4
Y-	20_40	100	40 ?	Horizontal	0,314	1,61	64,4
Y-	20_40	120	6 ?	Horizontal	0,314	1,61	9,66
X-	20_40	30	45 ?	Horizontal	0,314	1,61	72,45
X-	20_40	40	20 ?	Horizontal	0,314	1,61	32,2
X-	20_40	60	20 ?	Horizontal	0,314	1,61	32,2
X-	20_40	80	20 ?	Horizontal	0,314	1,61	32,2
X-	20_40	90	20 ?	Horizontal	0,314	1,61	32,2
X-	20_40	100	20 ?	Horizontal	0,314	1,61	32,2
X-	20_40	10	20 ?	Horizontal	0,314	1,61	32,2
X+	20_40	20	15 ?	Horizontal	0,314	1,61	24,15
X+	20_40	30	30 ?	Horizontal	0,314	1,61	48,3
X+	20_40	40	30 ?	Horizontal	0,314	1,61	48,3
X+	20_40	50	10 ?	Horizontal	0,314	1,61	16,1
X+	20_40	70	30 ?	Horizontal	0,314	1,61	48,3
X+	20_40	80	5 ?	Horizontal	0,314	1,61	8,05
X+	20_40	90	5 ?	Horizontal	0,314	1,61	8,05
X+	20_40	100	5 ?	Horizontal	0,314	1,61	8,05
Y+	40_100	0	6 ?	Horizontal	0,314	1,61	9,66
Y+	40_100	20	30 ?	Horizontal	0,314	1,61	48,3
Y+	40_100	30	10 ?	Horizontal	0,314	1,61	16,1
Y+	40_100	40	8 ?	Horizontal	0,314	1,61	12,88

Y+	40_100	50	10 ?	Horizontal	0,314	1,61	16,1	
Y+	40_100	60	8 ?	Horizontal	0,314	1,61	12,88	
Y+	40_100	70	10 ?	Horizontal	0,314	1,61	16,1	
Y+	40_100	80	10 ?	Horizontal	0,314	1,61	16,1	
Y+	40_100	90	10 ?	Horizontal	0,314	1,61	16,1	
Y+	40_100	120	10 ?	Horizontal	0,314	1,61	16,1	
Y+	40_100	130	10 ?	Horizontal	0,314	1,61	16,1	
Y+	40_100	140	10 ?	Horizontal	0,314	1,61	16,1	
Y+	40_100	150	10 ?	Horizontal	0,314	1,61	16,1	
Y+	40_100	20	10 ?	Horizontal	0,314	1,61	16,1	
Y-	40_100	40	10 ?	Horizontal	0,314	1,61	16,1	
Y-	40_100	60	10 ?	Horizontal	0,314	1,61	16,1	
Y-	40_100	70	15 ?	Horizontal	0,314	1,61	24,15	
Y-	40_100	80	15 ?	Horizontal	0,314	1,61	24,15	
Y-	40_100	90	5 ?	Horizontal	0,314	1,61	8,05	
Y-	40_100	100	5 ?	Horizontal	0,314	1,61	8,05	
Y-	40_100	120	5 ?	Horizontal	0,314	1,61	8,05	
X-	40_100	30	5 ?	Horizontal	0,314	1,61	8,05	
X-	40_100	40	20 ?	Horizontal	0,314	1,61	32,2	
X-	40_100	60	20 ?	Horizontal	0,314	1,61	32,2	
X-	40_100	80	8 ?	Horizontal	0,314	1,61	12,88	
X-	40_100	90	8 ?	Horizontal	0,314	1,61	12,88	
X-	40_100	100	8 ?	Horizontal	0,314	1,61	12,88	
X+	40_100	10	8 ?	Horizontal	0,314	1,61	12,88	
X+	40_100	20	8 ?	Horizontal	0,314	1,61	12,88	
X+	40_100	30	8 ?	Horizontal	0,314	1,61	12,88	
X+	40_100	40	8 ?	Horizontal	0,314	1,61	12,88	
X+	40_100	50	5 ?	Horizontal	0,314	1,61	8,05	
X+	40_100	70	5 ?	Horizontal	0,314	1,61	8,05	
X+	40_100	80	5 ?	Horizontal	0,314	1,61	8,05	
X+	40_100	90	15 ?	Horizontal	0,314	1,61	24,15	
X+	40_100	100	15 ?	Horizontal	0,314	1,61	24,15	
F - Cavidade de Syntermes sp1, há um tipo de piso denso (1 cm de espessura) são grandes cavidades	Y+	10_20	80	1	Horizontal	80	200	200
	Y+	10_20	120	1 não	Horizontal	28	240	240

ovaladas formando uma espécie de bolsa que variam (de 5 x 10 a 5.5 x 17 cm). As paredes não têm uma coloração escura, são granúlos de solo cimentado fortemente, as paredes são construídas com solo da superfície e de camadas mais profundas de coloração amarela e vermelha. As últimas três estavam na vertical, sendo possível calcular o volume, são galerias que vão a superfície para forrageamento.	Y+	10_20	130	3 não	Horizontal	28	240	720
	Y+	10_20	140	3 sim	Horizontal	28	240	720
	Y+	10_20	150	1 sim	Horizontal	28	240	240
	Y+	20_40	90	1 não	Horizontal	40	100	100
	Y+	20_40	120	1 não	Horizontal	12	480	480
	Y+	20_40	150	1 não	Horizontal	28	480	480
	X+	20_40	70	1 não	Horizontal	6	100	100
	Y+	0-10	140	2 não	vertical	94	70,65	141,3
	Y+	10_20	140	2 não	vertical	94	700,65	1401,3
	Y+	10_20	140	1 não	Horizontal	31,4	19,625	19,625
N - Estrutura arredondada (casulo de larva de coleóptero), parede adensada rugosa, no interior normalmente havia uma larva de vespa, não identificada, instalada no interior da mesma. Quando mais velha, é preenchida com solo, pequenos granulos (1 mm), arredondados lisos.	Y+	0-10	70	2 ?	difusa	94,2	84,78	169,56
	Y+	0-10	80	1 ?	difusa	94,2	84,78	84,78
	Y+	0-10	90	1 ?	difusa	94,2	84,78	84,78
	Y-	0-10	100	1 ?	difusa	94,2	84,78	84,78
	X-	0-10	80	1 ?	difusa	94,2	84,78	84,78
	X+	0-10	40	1 ?	difusa	94,2	84,78	84,78
	Y+	10_20	0	1 ?	difusa	94,2	84,78	84,78
	Y+	10_20	20	2 ?	difusa	94,2	84,78	169,56
	Y+	10_20	80	1 ?	difusa	94,2	84,78	84,78
	Y+	10_20	90	1 ?	difusa	94,2	84,78	84,78
	Y+	10_20	150	1 ?	difusa	94,2	84,78	84,78
	Y-	10_20	80	2 ?	difusa	94,2	84,78	169,56
	Y-	10_20	100	2 ?	difusa	94,2	84,78	169,56
	X+	10_20	30	1 ?	difusa	94,2	84,78	84,78
	X+	10_20	40	2 ?	difusa	94,2	84,78	169,56
	X+	10_20	70	1 ?	difusa	94,2	84,78	84,78
	X+	10_20	90	1 ?	difusa	94,2	84,78	84,78
	Y+	20_40	30	1 ?	difusa	94,2	84,78	84,78
	Y+	20_40	60	1 ?	difusa	94,2	84,78	84,78
	Y+	20_40	70	1 ?	difusa	94,2	84,78	84,78
	X+	20_40	70	1 ?	difusa	94,2	84,78	84,78
	X-	40_100	40	1 ?	difusa	94,2	84,78	84,78
X+	40_100	80	1 ?	difusa	94,2	84,78	84,78	

O - Galeria <i>Nasutitermes</i> sp1 com parede bem definida e coloração escura, preto, estrutura rgida com alto teor de matéria orgânica.	X-	20_40	30	4 não	Horizontal	15,7	39,25	0,157
	Y+	40_100	30	3 não	vertical	15,7	117,75	0,35325
P - Excrementos de larva de coleóptero são achatados, ovalados, lisos, são dois tipos que diferem na composição, um composto de matéria orgânica, muito argiloso e rígido, outro composto de material vegetal em decomposição, pouca argila. São frequentes na camada 0 – 20 cm de profundidade.	Y+	0-10	0	500 ?	difusa	9,92	0,02512	12,56
	Y+	0-10	20	500 ?	difusa	9,92	0,02512	12,56
	Y+	0-10	30	500 ?	difusa	9,92	0,02512	12,56
	Y+	0-10	40	500 ?	difusa	9,92	0,02512	12,56
	Y+	0-10	60	500 ?	difusa	9,92	0,02512	12,56
	Y+	0-10	70	500 ?	difusa	9,92	0,02512	12,56
	Y+	0-10	80	500 ?	difusa	9,92	0,02512	12,56
	Y+	0-10	90	500 ?	difusa	9,92	0,02512	12,56
	Y+	0-10	120	500 ?	difusa	9,92	0,02512	12,56
	Y+	0-10	130	500 ?	difusa	9,92	0,02512	12,56
	Y+	0-10	140	500 ?	difusa	9,92	0,02512	12,56
	Y+	0-10	150	500 ?	difusa	9,92	0,02512	12,56
	Y-	0-10	20	500 ?	difusa	9,92	0,02512	12,56
	Y-	0-10	40	500 ?	difusa	9,92	0,02512	12,56
	Y-	0-10	50	200 ?	difusa	9,92	0,02512	5,024
	Y-	0-10	60	500 ?	difusa	9,92	0,02512	12,56
	Y-	0-10	70	500 ?	difusa	9,92	0,02512	12,56
	Y-	0-10	80	500 ?	difusa	9,92	0,02512	12,56
	Y-	0-10	90	500 ?	difusa	9,92	0,02512	12,56
	Y-	0-10	100	500 ?	difusa	9,92	0,02512	12,56
	Y-	0-10	120	500 ?	difusa	9,92	0,02512	12,56
	X-	0-10	30	500 ?	difusa	9,92	0,02512	12,56
	X-	0-10	40	500 ?	difusa	9,92	0,02512	12,56
	X-	0-10	60	500 ?	difusa	9,92	0,02512	12,56
	X-	0-10	80	500 ?	difusa	9,92	0,02512	12,56
	X-	0-10	90	500 ?	difusa	9,92	0,02512	12,56
	X-	0-10	100	500 ?	difusa	9,92	0,02512	12,56
	X+	0-10	10	500 ?	difusa	9,92	0,02512	12,56
X+	0-10	20	500 ?	difusa	9,92	0,02512	12,56	
X+	0-10	30	500 ?	difusa	9,92	0,02512	12,56	
X+	0-10	40	500 ?	difusa	9,92	0,02512	12,56	

X+	0-10	50	500 ?	difusa	9,92	0,02512	12,56
X+	0-10	70	500 ?	difusa	9,92	0,02512	12,56
X+	0-10	80	500 ?	difusa	9,92	0,02512	12,56
X+	0-10	90	500 ?	difusa	9,92	0,02512	12,56
X+	0-10	100	500 ?	difusa	9,92	0,02512	12,56
Y+	10_20	0	200 ?	difusa	9,92	0,02512	5,024
Y+	10_20	20	200 ?	difusa	9,92	0,02512	5,024
Y+	10_20	30	200 ?	difusa	9,92	0,02512	5,024
Y+	10_20	40	200 ?	difusa	9,92	0,02512	5,024
Y+	10_20	60	200 ?	difusa	9,92	0,02512	5,024
Y+	10_20	70	200 ?	difusa	9,92	0,02512	5,024
Y+	10_20	80	200 ?	difusa	9,92	0,02512	5,024
Y+	10_20	90	200 ?	difusa	9,92	0,02512	5,024
Y+	10_20	120	200 ?	difusa	9,92	0,02512	5,024
Y+	10_20	130	200 ?	difusa	9,92	0,02512	5,024
Y+	10_20	140	200 ?	difusa	9,92	0,02512	5,024
Y+	10_20	150	200 ?	difusa	9,92	0,02512	5,024
Y-	10_20	20	200 ?	difusa	9,92	0,02512	5,024
Y-	10_20	40	200 ?	difusa	9,92	0,02512	5,024
Y-	10_20	50	200 ?	difusa	9,92	0,02512	5,024
Y-	10_20	60	200 ?	difusa	9,92	0,02512	5,024
Y-	10_20	70	200 ?	difusa	9,92	0,02512	5,024
Y-	10_20	80	200 ?	difusa	9,92	0,02512	5,024
Y-	10_20	90	200 ?	difusa	9,92	0,02512	5,024
Y-	10_20	100	200 ?	difusa	9,92	0,02512	5,024
Y-	10_20	120	200 ?	difusa	9,92	0,02512	5,024
X-	10_20	30	200 ?	difusa	9,92	0,02512	5,024
X-	10_20	40	200 ?	difusa	9,92	0,02512	5,024
X-	10_20	60	200 ?	difusa	9,92	0,02512	5,024
X-	10_20	80	200 ?	difusa	9,92	0,02512	5,024
X-	10_20	90	200 ?	difusa	9,92	0,02512	5,024
X-	10_20	100	200 ?	difusa	9,92	0,02512	5,024
X+	10_20	10	200 ?	difusa	9,92	0,02512	5,024
X+	10_20	20	200 ?	difusa	9,92	0,02512	5,024
X+	10_20	30	200 ?	difusa	9,92	0,02512	5,024

	X+	10_20	40	200	?	difusa	9,92	0,02512	5,024
	X+	10_20	50	200	?	difusa	9,92	0,02512	5,024
	X+	10_20	70	200	?	difusa	9,92	0,02512	5,024
	X+	10_20	80	200	?	difusa	9,92	0,02512	5,024
	X+	10_20	90	200	?	difusa	9,92	0,02512	5,024
	X+	10_20	100	200	?	difusa	9,92	0,02512	5,024
	X+	20_40	80	100	?	difusa	9,92	0,02512	2,512
Q- Coprólitos de minhocucu, são adensado, cilíndricos e alongados, são formados de pequenos discos justapostos formando uma estrutura alonganda em varias direções.	Y+	0-10	0		?	difusa	3,14		
	Y+	0-10	20		?	difusa	3,14		
	Y+	0-10	30		?	difusa	3,14		
	Y+	0-10	40		?	difusa	3,14		
	Y+	0-10	60		?	difusa	3,14		
	Y+	0-10	70		?	difusa	3,14		
	Y+	0-10	80		?	difusa	3,14		
	Y+	0-10	90		?	difusa	3,14		
	Y+	0-10	120		?	difusa	3,14		
	Y+	0-10	130		?	difusa	3,14		
	Y+	0-10	140		?	difusa	3,14		
	Y+	0-10	150		?	difusa	3,14		
	Y-	0-10	20		?	difusa	3,14		
	Y-	0-10	40		?	difusa	3,14		
	Y-	0-10	50		?	difusa	3,14		
	Y-	0-10	60		?	difusa	3,14		
	Y-	0-10	70		?	difusa	3,14		
	Y-	0-10	80		?	difusa	3,14		
	Y-	0-10	90		?	difusa	3,14		
	Y-	0-10	100		?	difusa	3,14		
Y-	0-10	120		?	difusa	3,14			
X-	0-10	30		?	difusa	3,14			
X-	0-10	40		?	difusa	3,14			
X-	0-10	60		?	difusa	3,14			
X-	0-10	80		?	difusa	3,14			
X-	0-10	90		?	difusa	3,14			
X-	0-10	100		?	difusa	3,14			

X+	0-10	10	?	difusa	3,14
X+	0-10	20	?	difusa	3,14
X+	0-10	30	?	difusa	3,14
X+	0-10	40	?	difusa	3,14
X+	0-10	50	?	difusa	3,14
X+	0-10	70	?	difusa	3,14
X+	0-10	80	?	difusa	3,14
X+	0-10	90	?	difusa	3,14
X+	0-10	100	?	difusa	3,14
Y+	10_20	0	?	difusa	3,14
Y+	10_20	20	?	difusa	3,14
Y+	10_20	30	?	difusa	3,14
Y+	10_20	40	?	difusa	3,14
Y+	10_20	60	?	difusa	3,14
Y+	10_20	70	?	difusa	3,14
Y+	10_20	80	?	difusa	3,14
Y+	10_20	90	?	difusa	3,14
Y+	10_20	120	?	difusa	3,14
Y+	10_20	130	?	difusa	3,14
Y+	10_20	140	?	difusa	3,14
Y+	10_20	150	?	difusa	3,14
Y-	10_20	20	?	difusa	3,14
Y-	10_20	40	?	difusa	3,14
Y-	10_20	50	?	difusa	3,14
Y-	10_20	60	?	difusa	3,14
Y-	10_20	70	?	difusa	3,14
Y-	10_20	80	?	difusa	3,14
Y-	10_20	90	?	difusa	3,14
Y-	10_20	100	?	difusa	3,14
Y-	10_20	120	?	difusa	3,14
X-	10_20	30	?	difusa	3,14
X-	10_20	40	?	difusa	3,14
X-	10_20	60	?	difusa	3,14
X-	10_20	80	?	difusa	3,14
X-	10_20	90	?	difusa	3,14

X-	10_20	100	?	difusa	3,14
X+	10_20	10	?	difusa	3,14
X+	10_20	20	?	difusa	3,14
X+	10_20	30	?	difusa	3,14
X+	10_20	40	?	difusa	3,14
X+	10_20	50	?	difusa	3,14
X+	10_20	70	?	difusa	3,14
X+	10_20	80	?	difusa	3,14
X+	10_20	90	?	difusa	3,14
X+	10_20	100	?	difusa	3,14
Y+	20_40	0	?	difusa	3,14
Y+	20_40	20	?	difusa	3,14
Y+	20_40	30	?	difusa	3,14
Y+	20_40	40	?	difusa	3,14
Y+	20_40	60	?	difusa	3,14
Y+	20_40	70	?	difusa	3,14
Y+	20_40	80	?	difusa	3,14
Y+	20_40	90	?	difusa	3,14
Y+	20_40	120	?	difusa	3,14
Y+	20_40	130	?	difusa	3,14
Y+	20_40	140	?	difusa	3,14
Y+	20_40	150	?	difusa	3,14
Y-	20_40	20	?	difusa	3,14
Y-	20_40	40	?	difusa	3,14
Y-	20_40	50	?	difusa	3,14
Y-	20_40	60	?	difusa	3,14
Y-	20_40	70	?	difusa	3,14
Y-	20_40	80	?	difusa	3,14
Y-	20_40	90	?	difusa	3,14
Y-	20_40	100	?	difusa	3,14
Y-	20_40	120	?	difusa	3,14
X-	20_40	30	?	difusa	3,14
X-	20_40	40	?	difusa	3,14
X-	20_40	60	?	difusa	3,14
X-	20_40	80	?	difusa	3,14

X-	20_40	90	?	difusa	3,14
X-	20_40	100	?	difusa	3,14
X-	20_40	10	?	difusa	3,14
X+	20_40	20	?	difusa	3,14
X+	20_40	30	?	difusa	3,14
X+	20_40	40	?	difusa	3,14
X+	20_40	50	?	difusa	3,14
X+	20_40	70	?	difusa	3,14
X+	20_40	80	?	difusa	3,14
X+	20_40	90	?	difusa	3,14
X+	20_40	100	?	difusa	3,14
Y+	40_100	0	?	difusa	3,14
Y+	40_100	20	?	difusa	3,14
Y+	40_100	30	?	difusa	3,14
Y+	40_100	40	?	difusa	3,14
Y+	40_100	50	?	difusa	3,14
Y+	40_100	60	?	difusa	3,14
Y+	40_100	70	?	difusa	3,14
Y+	40_100	80	?	difusa	3,14
Y+	40_100	90	?	difusa	3,14
Y+	40_100	120	?	difusa	3,14
Y+	40_100	130	?	difusa	3,14
Y+	40_100	140	?	difusa	3,14
Y+	40_100	150	?	difusa	3,14
Y+	40_100	20	?	difusa	3,14
Y-	40_100	40	?	difusa	3,14
Y-	40_100	60	?	difusa	3,14
Y-	40_100	70	?	difusa	3,14
Y-	40_100	80	?	difusa	3,14
Y-	40_100	90	?	difusa	3,14
Y-	40_100	100	?	difusa	3,14
Y-	40_100	120	?	difusa	3,14
X-	40_100	30	?	difusa	3,14
X-	40_100	40	?	difusa	3,14
X-	40_100	60	?	difusa	3,14

X-	40_100	80	?	difusa	3,14
X-	40_100	90	?	difusa	3,14
X-	40_100	100	?	difusa	3,14
X+	40_100	10	?	difusa	3,14
X+	40_100	20	?	difusa	3,14
X+	40_100	30	?	difusa	3,14
X+	40_100	40	?	difusa	3,14
X+	40_100	50	?	difusa	3,14
X+	40_100	70	?	difusa	3,14
X+	40_100	80	?	difusa	3,14
X+	40_100	90	?	difusa	3,14
X+	40_100	100	?	difusa	3,14

P (cm) A (cm²) A Total (mm²)

E - Galeria ou cavidade sem parede definidas (sem revestimento escuro) não identificadas.

Y-	20_40	60	1 ?	Horizontal	283	636	636
----	-------	----	-----	------------	-----	-----	-----

G - Estrutura maciça, provavelmente coprólito velho de minhocaçu. (normalmente 4 x 3 x 3 cm) é uma pasta de solo adensada seca e muito rígida ou coesa, no entanto há umas que são compostas de excrementos de larvas de coleoptero e de cupins, há solo da superfície, mas também um solo avermelhado, encontrado abaixo de 1 m de profundidade. havia varias ao longo do perfil, porém não foram contabilizadas.

Y-	20_40	20	1 ?	difusa	260	120	120
----	-------	----	-----	--------	-----	-----	-----

H - Finas galerias de formigas (são vermelhas medindo 1mm de corpo) sem parede definidas ou sem revestimento escuro. Havia também 1 ninho subterrâneo de formiga (5 x 5 cm): Não foi identificada a espécie, são formigas pequenas, (0,5 mm) e vermelhas, e estava associada a câmara preenchida com solo solto, ao redor dos ninhos havia os mesmos agregados arredondados ou esféricos, lisos ou rugosos (de 0,1 a 2 mm) encontrados no interior

Y+	20_40	150	30 ?	Horizontal	0,31	0,79	23,55
----	-------	-----	------	------------	------	------	-------

das câmara preenchida com solo solto.

I - Ninho de *Nasutitermes*, são várias camadas sobrepostas, com espaços vazio entre elas, é composto de muita MO e ao redor galerias de fino calibre que saem na horizontal, vertical e transversal. Ambas com paredes bem definida e com revestimento escuro (1mm)

X-	20_40	30	1 ?	difusa	628	314	314
----	-------	----	-----	--------	-----	-----	-----

J - Volumes de solo com uma coloração mais escura é como a camada 20 - 30, mas não é adensada, na sequencia, esta área apresenta com agregados mais soltos até chegar à câmara preenchida com solo solto, completamente retrabalhada.

Y+	10_20	120	1	difusa	260	400	400
X+	10_20	30	1 não	vertical	600	2000	2000
Y+	20_40	60	1 não	difusa	600	9000	9000
Y-	20_40	20	1 sim	Horizontal	1100	7000	7000
Y-	20_40	40	1 sim	Horizontal	1600	10050	10050
Y-	20_40	50	1 não	Horizontal	900	4500	4500
X+	20_40	30	1 não	vertical	600	2000	2000
Y+	40_100	60	1 não	difusa	8000	4800	4800
X+	40_100	30	1 não	vertical	2200	18000	18000

K - Volumes de solo escuro está dentro da faixa de 20 – 30 cm.

Y+	20_40	120	1 não	difusa	560	1600	1600
Y+	40_100	0	1 não	difusa	800	3750	3750