



UFRR

UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS

MEIRIANE NUNES DE OLIVEIRA

**DIVERSIDADE DE CUPINS E SUAS RELAÇÕES EDÁFICAS EM SAVANA  
ESTÉPICA NA FORMAÇÃO SURUMU, RORAIMA**

BOA VISTA, RR  
2018

MEIRIANE NUNES DE OLIVEIRA

**DIVERSIDADE DE CUPINS E SUAS RELAÇÕES EDÁFICAS EM SAVANA  
ESTÉPICA NA FORMAÇÃO SURUMU, RORAIMA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal de Roraima, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Recursos Naturais, na área de concentração: Manejo e Dinâmica de Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Dr. José Frutuoso do Vale Júnior.

Coorientador: Prof. Dr. Agno Nonato Serrão Acioli.

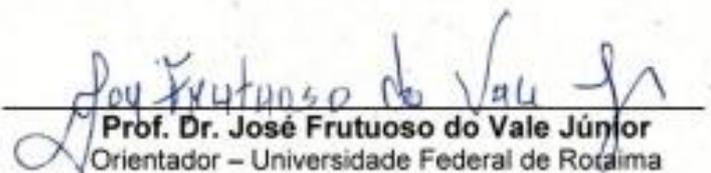
Coorientador: Prof. Dr. Carlos Ernesto G. R. Schaefer.

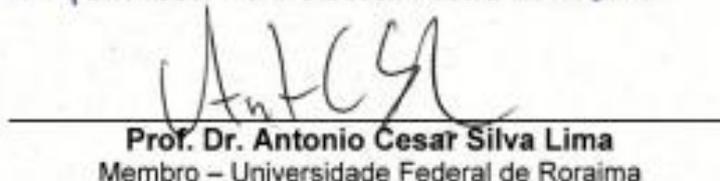
BOA VISTA, RR  
2018

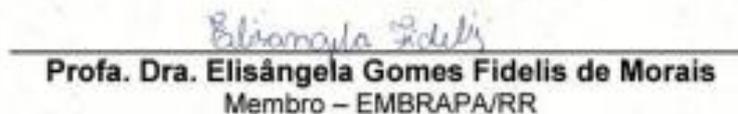
**MEIRIANE NUNES DE OLIVEIRA**

**DIVERSIDADE DE CUPINS E SUAS RELAÇÕES EDÁFICAS EM SAVANA  
ESTÉPICA NA FORMAÇÃO SURUMU, RORAIMA.**

Dissertação apresentada como pré-requisito para conclusão do Curso de Mestrado em Recursos Naturais da Universidade Federal de Roraima, defendida em 28 de agosto de 2018 e avaliada pela seguinte Banca Examinadora:

  
**Prof. Dr. José Frutuoso do Vale Júnior**  
Orientador – Universidade Federal de Roraima

  
**Prof. Dr. Antonio Cesar Silva Lima**  
Membro – Universidade Federal de Roraima

  
**Profa. Dra. Elisângela Gomes Fidelis de Moraes**  
Membro – EMBRAPA/RR

  
**Profa. Dra. Tatiane Marie Martins Gomes de Castro**  
Membro - Universidade Estadual de Roraima

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
Biblioteca Central da Universidade Federal de Roraima

O48d Oliveira, Meiriane Nunes de.  
Diversidade de cupins e suas relações edáficas em savana estépica na  
Formação Surumu, Roraima / Meiriane Nunes de Oliveira. – Boa Vista,  
2018.

82 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. José Frutuoso do Vale Júnior.

Coorientador: Prof. Dr. Agno Nonato Serrão Acioli.

Coorientador: Prof. Dr. Carlos Ernesto G. R. Schaefer.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Roraima, Programa  
de Pós-Graduação em Recursos Naturais.

1 – Diversidade de cupins. 2 – Cupinzeiro. 3 – Pedobioturbação. 4 –  
Cielagem de nutrientes. 5 – Gênese de solos. I – Título. II – Vale Júnior,  
José Frutuoso do (orientador). III – Acioli, Agno Nonato Serrão  
(coorientador). IV – Schaefer, Carlos Ernesto G. R. (coorientador).

CDU – 595.732: 63(811.4)

Ficha Catalográfica elaborada pela Bibliotecária/Documentalista:  
Shirdoill Batalha de Souza - CRB-11/573-AM

À minha família,  
Minha mãe Maria Lúcia Nunes de Oliveira,  
Meu marido Elivanderson da Silva Lucena,  
Meus filhos Miguel de Oliveira Lucena  
e Caleb de Oliveira Lucena  
pelo estímulo, amparo, cuidados  
e amor incondicional.

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal de Roraima, seus professores, coordenação e funcionários pela atenção e credibilidade.

À CAPES, pela bolsa concedida, que me permitiu dedicação exclusiva ao mestrado.

Ao professor Dr. José Frutuoso do Vale Júnior, orientador dessa pesquisa, pela contribuição científica, confiança, dedicação e compromisso.

Ao professor Dr. Agno Nonato Serrão Acioli, por aceitar o desafio de coorientar essa pesquisa, assumindo a liderança nos trabalhos de campo com dedicação para treinar a equipe para coleta e identificação dos cupins.

Ao professor Dr. Carlos Ernesto G. R. Schaefer, coorientador dessa pesquisa, pela dedicação e empenho nas contribuições sobre a ecologia dos cupins.

À Me. Maola Monique Faria pelas valiosas sugestões e contribuições para a metodologia e estrutura da pesquisa.

À equipe de coleta Augusto César Rodrigues Santos (CCA - UFRR); Victor Hugo Carvalho Saboia (CCA - UFRR); Jennifer Barrera Mogica (PRONAT - UFRR) e Elivanderson da Silva Lucena.

Ao professor Dr. Frank James Araújo Pinheiro, diretor do Centro de estudos da biodiversidade (CBIO - UFFRR) por disponibilizar um laboratório de ensino equipado para triagem e identificação dos cupins.

Ao Thiago Falcão Soares (IGEO - UFRR), pela contribuição e dedicação na construção dos Mapas da área de estudo e solos.

À Me. Mariane Bosholn (IMPA - AM), pelo empenho, contribuindo e auxiliando nas análises estatísticas.

Aos meus colegas e amigos da turma de mestrado de 2016 (melhor turma), em especial Andressa Sampaio Oliveira, Bruna Rufino, Daniel Negrão, Jennifer Barrera Mogica, Lilia Cristina Cruz e Regina Oliveira pela união em todos os momentos dessa jornada, tornando-a prazerosa.

Em âmbito pessoal, agradeço à minha família, a minha mãe Maria Lúcia Nunes de Oliveira que incondicionalmente me deu apoio, ajudando a cuidar e educar meus filhos, além de ser incentivadora assídua para que eu não desistisse dos meus objetivos. Meu querido marido Elivanderson da Silva Lucena, pelo apoio e incentivo, principalmente nos momentos mais difíceis.

A DEUS, por TUDO.

## RESUMO

A fauna de cupins desempenha um importante papel na engenharia ecossistêmica, atuam na ciclagem de nutrientes, gênese de solos e manutenção da heterogeneidade em savanas. Esta pesquisa objetivou a análise da diversidade e a ação dos cupins sobre os atributos edáficos na Formação Surumu, ambiente de savana no estado de Roraima. A diversidade de cupins foi estimada através de um protocolo rápido para avaliação da biodiversidade, a transecção ocorreu em Argissolo Vermelho-amarelo e Plintossolo Háptico. Para a avaliação dos atributos edáficos foram traçados quatro sítios de coleta onde coletou-se material de cupinzeiro da espécie *Amitermes excellens* e solo adjacente para comparação estatística dos atributos físico-químicos, foram contabilizados e medidos todos os cupinzeiros nos sítios para calcular a densidade e pedobioturbação comparando-as nas classes de solos. Foi encontrada uma riqueza de 16 espécies pertencentes às famílias Rhinotermitidae (uma espécie) e Termitidae subdividida nas subfamílias Apicotermitinae (sete espécies), Nasutitermitinae (cinco espécies) e Termitinae (três espécies). Não há diferenças de diversidade de espécies frequentes em Argissolo Vermelho-amarelo e Plintossolo Háptico, porém diferem na composição de espécies raras. Esses resultados assemelham-se aos biomas similares cerrado e caatinga. As espécies de ambientes abertos *Cortaritermes intermedius* e *Grigiotermes* sp.1 não apresentavam registro de ocorrência na Amazônia até o presente estudo, evidenciando aspectos ainda não detalhados sobre a fauna de cupins na área de estudo. A nidificação dos cupins apresenta seis espécies que constroem ninhos difusos, seis espécies hipógeas, três espécies epígeas e uma espécie inquilina. O grupo trófico dominante pertence aos cupins humívoros, seguidos dos xilófagos, intermediários e ceifadores, sendo evidente a correlação entre nidificação e alimentação. As análises laboratoriais e estatísticas dos atributos físico-químicos comprovam diferenças entre o material dos cupinzeiros de *Amitermes excellens* e solos adjacentes em Argissolo Vermelho-amarelo e Plintossolo Háptico, a concentração de argila por seleção de partículas finas transportadas verticalmente de solos subsuperficiais foi comprovada e explica a retenção de nutrientes (N, P, K, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>) e matéria orgânica, concentrados nos ninhos por ação dos cupins. Houve diferenças significativas na densidade e volume de cupinzeiros, nos Argissolos Vermelho-amarelo a densidade é baixa (13,5 cupinzeiros por hectare) e os ninhos são mais altos (2,08 m) e volumosos (25,48 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>), já nos Plintossolos Hápticos a densidade é alta (40 cupinzeiros por hectare) e os ninhos são mais baixos (1,57 m) e menos volumosos (14,31 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>). A densidade e volume dos cupinzeiros pode ser explicada por condições paleoclimáticas, hidropedológicas, disponibilidade de argila, tempo e competição intra-específica. A estimativa calculada de erosão e decaimento dos cupinzeiros após a morte da colônia pode criar um manto de até 11,46 cm em Argissolo e 18,89 cm em Plintossolo, totalizando 30,35 cm de material que será devolvido ao sistema do solo, enriquecendo-o com altas concentrações de argila e nutrientes. A pedobioturbação promovida pela espécie *Amitermes excellens* e a capacidade de modificar os atributos edáficos químicos e físicos modificam a paisagem criando ilhas de fertilidade, evidenciando a importância da engenharia ecossistêmica dessa espécie no ciclo dos nutrientes e gênese do solo em savana estépica roraimense.

Palavras-chave: Diversidade de cupins. Cupinzeiro. Pedobioturbação. Ciclagem de nutrientes. Gênese de solos.

## ABSTRACT

Termite fauna plays an important role in ecosystem engineering, acting on nutrient cycling, soil genesis and maintenance of heterogeneity in savannas. This research aimed at the analysis of diversity and the action of termites on soil attributes in the Surumu Formation, savanna environment in the state of Roraima. The diversity of termites was estimated through a rapid protocol for biodiversity assessment, the transection occurred in Red-yellow Argisol and Planossol Háplico. For the evaluation of the soil attributes, four collection sites were collected where termite material of the species *Amitermes excellens* and adjacent soil were collected for statistical comparison of the physical-chemical attributes, all termite mounds were counted and measured at the sites to calculate density and pedobioturbation comparing them in the soil classes. A richness of 16 species belonging to the families Rhinotermitidae (a species) and Termitidae subdivided into the subfamilies Apicotermitinae (seven species), Nasutitermitinae (five species) and Termitinae (three species) were found. There are no differences in the diversity of common species in Red-yellow Argissolo and Plintosso-Háplico, but they differ in the composition of rare species. These results resemble similar cerrado and caatinga biomes. The open-air species *Cortaritermes intermedius* and *Grigiotermes* sp.1 did not show record of occurrence in the Amazon until the present study, evidencing aspects not yet detailed about termite fauna in the study area. The nesting of termites presents six species that construct diffuse nests, six hypogean species, three epigean species and one species inquiline. The dominant trophic group belongs to the humivorous termites, followed by the xylophagous, intermediates and reapers, being evident the correlation between nesting and feeding. The laboratory and statistical analyzes of the physicochemical attributes show differences between the material of the termites of *Amitermes excellens* and adjacent soils in Red-yellow Argissolo and Plintosso Háplico, the concentration of clay by selection of vertically transported fine particles of subsurface soils has been proven and explains nutrient retention (N, P, K, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>) and organic matter, concentrated in the nests by the action of termites. There were significant differences in density and volume of termite mounds, in the Red-yellow Argisols the density is low (13.5 termites per hectare) and the nests are higher (2.08 m) and bulky (25.48 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>), In Plintossolos háplicos the density is high (40 termites per hectare) and the nests are lower (1.57 m) and less voluminous (14.31 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>). The density and volume of termite mounds can be explained by paleoclimatic, hydropedological conditions, clay availability, time and intra-specific competition. The calculated estimate of erosion and decay of termite mounds after colony death can create a mantle of up to 11.46 cm in Argissolo and 18.89 cm in Plintossoe, totaling 30.35 cm of material that will be returned to the soil system, enriching -o with high concentrations of clay and nutrients. The pedobioturbation promoted by the species *Amitermes excellens* and the ability to modify the physical and chemical edaphic attributes modify the landscape creating fertility islands, evidencing the importance of the ecosystem engineering of this species in the nutrient cycle and soil genesis in the Estorian savannah.

Keywords: Termite diversity. Termite mound. Pedobioturbation. Nutrient cycling. Genesis of soils.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Fluxograma das atividades de campo e laboratoriais realizadas durante a execução da pesquisa.....22
- Figura 2 - Mapa de localização da Área de estudo com as principais classes de solo na Formação Surumu, entre os municípios Normandia e Pacaraima, Nordeste do estado de Roraima.....23
- Figura 3 - Perfis dos solos nos sítios de coleta. A) Perfil dos sítios de coleta 1 e 2 classificado com Plintossolo Háplico Tb Distrófico; B) Perfil dos sítios de coleta 3 e 4 classificado como Argissolo Vermelho-amarelo Distrófico típico. ....25
- Figura 4 - Esquema do transecto adaptado de Jones e Eggleton (2000) para amostragem de cupins na Formação Surumu, Roraima.....26
- Figura 5 - Esquema do sítio de coleta e amostragem das diferentes seções de cupinzeiros e solos controle na Formação Surumu, Roraima. ....30
- Figura 6 - Curva de acumulação de espécies para cada classe de solo que correspondem os quatro transectos na Formação Surumu, Roraima. ....35
- Figura 7 - A) Ninho arborícola de *Amitermes excellens* no caule de Caimbé em Planossolo Nátrico; B) Ninho epígeo de *Amitermes excellens* em Plintossolo háplico com vários vegetais associados; C) Ninho epígeo de *Cortaritermes intermedius* e D) Ninho epígeo de *Nasutitermes* sp.1. ....41
- Figura 8 - Resultados da PCA para variáveis físico-químicas do material do cupinzeiro e solo controle, Segundo Componente Principal em função do Primeiro Componente Principal.....46
- Figura 9 - Resultado dos scores do Primeiro Componente Principal para variáveis físico-químicas em função das diferentes secções dos cupinzeiros e solo controle. ....47
- Figura 10 - Análise Composta dos scores do Primeiro Componente Principal para variáveis físico-químicas dos cupinzeiros e solo controle. ....48
- Figura 11 - Regressão linear da Relação entre a percentagem de Incremento Relativo nas variáveis químicas nos cupinzeiros e solo controle: A) Teor de Potássio; B) Teor de Cálcio; C) Teor de Nitrogênio; D) Soma de bases; E) Capacidade de troca catiônica efetiva e F) Teor de matéria orgânica. ....50
- Figura 12 - Representação gráfica dos scores do Segundo Componente Principal em função das diferentes secções dos cupinzeiros e solo controle.....54

Figura 13 - Regressão linear da Relação entre a percentagem de Incremento Relativo nas variáveis físicas nos cupinzeiros e solo controle: A) Teor de silte no Plintossolo; B) Teor de silte no Argissolo; C) Teor de argila no Plintossolo; D) Teor de argila no Argissolo.....	55
Figura 14 - Representação da distribuição de cupinzeiros em Plintossolo Háplico no Sítio de coleta 1 e 2 e em Argissolo Vermelho-amarelo no Sítio de coleta 3 e 4 na Formação Surumu, Roraima.....	58
Figura 15 - Diagrama esquemático da ocorrência de cupinzeiros de <i>Amitermes excellens</i> na região do Rio Surumu, Roraima.....	59
Figura 16 – Comparação entre as médias nas diferentes classes de solo estudadas na Formação Surumu, Roraima: A) Altura dos cupinzeiros; B) Volume dos cupinzeiros. ....	62
Figura 17 - Regressão linear entre o volume e a altura dos cupinzeiros na Formação Surumu, Roraima: A) Em Plintossolo Háplico; B) Em Argissolo Vermelho-amarelo.....	62
Figura 18 - Regressão linear entre a circunferência dos cupinzeiros e a altura na Formação Surumu, Roraima: A) No Plintossolo Háplico; B) No Argissolo Vermelho-amarelo. ....	62

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Riqueza, abundância, dominância de espécies e índices de diversidade de cupins nos quatro transectos na Formação Surumu, Roraima. .... 34
- Tabela 2 - Valores dos scores das variáveis físico-químicas do material do cupinzeiro e solo controle no Primeiro Componente Principal (PC1) e Segundo Componente Principal (PC2). .... 44
- Tabela 3 - Resultados do pós - teste de Tukey para as variáveis físico-químicas do material do cupinzeiro e solo controle nas diferentes baseadas nos valores dos scores do PC1 e PC2. .... 45
- Tabela 4 - Estimativa na densidade de cupinzeiros e volume de solo ciclado por cupins nas classes de solos estudadas na Formação Surumu, Roraima. .... 64

## LISTA DE VARIÁVEIS UTILIZÁVEIS

Al <sup>3+</sup>	Cátions de alumínio
Ca <sup>2+</sup>	Cátions de cálcio
Ds	Densidade de Solo
H + Al	Acidez trocável
ISNa	Índice de Saturação por Sódio
K	Potássio
m	Índice de Saturação por Alumínio
Mg <sup>2+</sup>	Cátions de magnésio
MO	Matéria orgânica
N	Nitrogênio total
Na	Sódio
P	Fósforo
pH	pH em água - Relação 1:2,5
P-REM	Fósforo Remanescente
SB	Soma de Bases Trocáveis
t	Capacidade de Troca Catiônica Efetiva
T	Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0
V	Índice de Saturação por Bases

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
1.1	ORGANIZAÇÃO SOCIAL E ALIMENTAÇÃO DOS CUPINS .....	14
1.2	TAXONOMIA E DIVERSIDADE DOS CUPINS .....	15
<b>1.2.2</b>	<b>Estudos da Termitofauna epígea na Região Amazônica</b> .....	17
1.3	NIDIFICAÇÃO DOS CUPINS EPÍGEOS .....	18
<b>1.3.1</b>	<b>Importância dos cupins na ciclagem de nutrientes e gênese de solos</b> .....	19
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	21
2.1	OBJETIVO GERAL.....	21
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	21
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	22
3.1	ÁREA DE ESTUDO .....	22
<b>3.1.1</b>	<b>Caracterização morfológica dos perfis de solo na área de estudo</b> .....	24
3.2	AMOSTRAGEM, IDENTIFICAÇÃO E DEFINIÇÃO DO GRUPO FUNCIONAL DAS ESPÉCIES DE CUPINS .....	26
<b>3.2.1</b>	<b>Amostragem de cupins</b> .....	26
<b>3.2.2</b>	<b>Diversidade e definição do grupo funcional de cupins</b> .....	27
3.3	AMOSTRAGEM DE SOLOS CONTROLE E DE CUPINZEIROS.....	29
3.4	ANÁLISES LABORATORIAIS FÍSICAS E QUÍMICAS DOS SOLOS DOS CUPINZEIROS E SUPERFICIAIS.....	30
3.5	DENSIDADE E VOLUME DE SOLO NOS CUPINZEIROS .....	31
3.6	ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....	32
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	33
4.1	DIVERSIDADE E DIFINIÇÃO DE GRUPOS FUNCIONAIS DE CUPINS .....	33
<b>4.1.1</b>	<b>Análise da composição faunística da assembleia de cupins na Formação Surumu</b> .....	33
<b>4.1.2</b>	<b>Análise dos padrões de nidificação e composição funcional da assembleia de cupins da Formação Surumu</b> .....	39
4.2	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DO MATERIAL DE CUPINZEIROS E SOLO CONTROLE .....	44
<b>4.2.1</b>	<b>Características químicas do material de cupinzeiros e solo controle</b> .....	46
<b>4.2.2</b>	<b>Textura do material de cupinzeiros e solo controle</b> .....	53
4.3	DENSIDADE DE CUPINZEIROS E SEU VOLUME DE SOLO .....	57
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	67
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	68

## 1 INTRODUÇÃO

Os térmitas ou cupins são insetos sociais pertencentes ao Filo Arthropoda, classe Insecta, ordem Blattodea e subordem Isoptera (KRISHNA et al., 2013). A distribuição desses invertebrados ocorre em ambientes terrestres tropicais (ABE et al., 2011), onde são dominantes (BOURGUIGNON; EPONCE; ROISIN, 2011), estão espalhados desde as florestas úmidas até as savanas, podendo até ser encontrados em regiões áridas, nos mais variados habitats (FERREIRA et al., 2011; JOUQUET et al., 2004).

As condições climáticas são os principais fatores que influenciam diretamente a distribuição e abundância dos cupins (SILVA et al., 2015). As regiões sub-tropicais e tropicais são mais diversas, e essa diversidade vai diminuindo com o aumento da latitude (CANCELLO et al., 2014). A natureza detritívora dos cupins os habilitam a serem um dos principais grupos dominantes da fauna de ecossistemas tropicais (NÚÑEZ et al., 2011), possuindo um papel importante na ciclagem de nutrientes (SEYMOUR et al., 2014) e formação de solos (SCHAEFER, 2001), proporcionando a criação e manutenção de um ambiente heterogêneo em savanas (GOSLING et al., 2012).

Diante da importância dos cupins para a ciclagem de nutrientes e formação de solos, surgiu a necessidade de conhecer os processos que ocorrem nos grandes cupinzeiros epígeos presentes na Formação Surumu, para tanto, faz-se necessário conhecer a biologia desses organismos e suas relações ecológicas com o ambiente onde estão inseridos, buscando investigar quais fatores estão associados a alta densidade de cupinzeiros nesse ambiente.

### 1.1 ORGANIZAÇÃO SOCIAL E ALIMENTAÇÃO DOS CUPINS

A sociedade dos cupins apresenta indivíduos morfofisiologicamente diferentes, que compreendem as castas. A casta estéril é representada por operários e soldados responsáveis por tarefas distintas. Os operários representam a casta mais numerosa, atuam na construção, reparo e limpeza do ninho, realizam o forrageamento e os cuidados com ovos e ninfas. Os soldados atuam na defesa e protegem o ninho contra possíveis invasores, utilizando as mandíbulas e/ou substâncias químicas produzidas na glândula frontal. Algumas espécies não apresentam soldados, sendo a defesa desempenhada por operários (KRISHNA et al., 2013).

A casta fértil compreende o casal real responsável pela reprodução de todos os indivíduos da colônia. Os reprodutores secundários estão presentes na colônia para substituição imediata, caso ocorra a morte do casal real. Também podem permitir a formação de colônia

satélite, principalmente em ninhos de natureza policálica, que consistem em estruturas biogênicas disjuntas acima da superfície do solo, porém, interligadas por câmaras subterrâneas (KRISHNA et al., 2013).

A fundação de novas colônias geralmente ocorre no início da estação chuvosa, onde os indivíduos alados (siriris ou aleluias) voam de seus ninhos originais. Após encontrarem um local seguro, ocorre a cópula e a postura dos primeiros ovos, as ninfas recebem cuidados dos pais até se tornarem operários ou soldados adultos, são eles que iniciam a construção do ninho para o estabelecimento da nova colônia. Após anos, quando a colônia atinge a maturidade, contendo milhares de indivíduos, então o ciclo se repete, ou seja a produção de novos indivíduos alados e novos fenômenos de revoadas (CONSTANTINO, 1999).

Diferentes espécies de cupins alimentam-se de diferentes fontes vegetais, esterco, solo, e alimentação especializada como líquens e espécies que são comumente cultivadores de fungos, todo esse material alimentar reflete diretamente na composição do seu ninho (ARVETI et al., 2012; SEYMOUR et al., 2014). De acordo com o conteúdo intestinal dos cupins, a sua alimentação compreende grupos tróficos, podem ser humívoros ou geófagos, alimentando-se de solo, xilófagos, alimentando-se de material vegetal, ceifadores ou intermediários, alimentando-se da interface entre madeira e solo (SOUZA; ALVES; VASCONCELLOS, 2012; RESENDE, 2012). Há também os cupins considerados pragas, que se alimentam de vegetais vivos (CONSTANTINO, 2002).

## 1.2 TAXONOMIA E DIVERSIDADE DOS CUPINS

São conhecidos cerca de 295 gêneros e aproximadamente 2.937 espécies de cupins. Atualmente, os cupins são distribuídos em nove famílias: Mastotermitidae, Hodotermitidae, Archotermopsidae, Stolotermitidae, Stylotermitidae, Kalotermitidae, Rhinotermitidae, Serritermitidae e Termitidae (CONSTANTINO, 2016; KRISHNA et al., 2013).

A taxonomia dos cupins é baseada em análises morfológicas dos soldados e operárias. A identificação de gêneros pode ser feita através de chaves de identificação com base na morfologia externa da mandíbula, pilosidade da cabeça, forma, espinhos e cerdas da perna anterior (CONSTANTINO, 1999). A identificação a nível de espécie deve ser baseada na comparação com coleções zoológicas utilizadas como referência, também deve ser levada em consideração a revisão taxonômica de autores especialistas nos gêneros de cupins (SCHEFFRAHN, 2016).

A região Neotropical apresenta cerca de 553 espécies descritas (CONSTANTINO, 1998). Nos últimos 10 anos o conhecimento sobre a diversidade dos cupins avançou substancialmente na região neotropical, resultando na descoberta de novos gêneros e espécies (CHOUVENC et al., 2016). No entanto, a taxonomia da termitofauna nessa região está longe de ser completa (CARRIJO; CUEZZO; SANTOS, 2015).

No Brasil, ocorrem apenas quatro famílias com 68 gêneros e cerca de 300 espécies, são elas: Kalotermitidae, Rhinotermitidae, Serritermitidae e Termitidae. A família Kalotermitidae é representada por cupins considerados primitivos, pois só vivem em madeira seca sem contato com o solo e nidificação. Os cupins da família Rhinotermitidae são em sua maioria subterrâneos e alguns deles são pragas importantes pelo fato de se alimentarem de madeira. Serritermitidae contém três espécies, sendo *Serritermes serrifer* Holmgren, inquilina obrigatória de ninhos de *Cornitermes*, a referente espécie é endêmica do cerrado brasileiro e savanas amazônicas, (CONSTANTINO, 1999).

A família Termitidae é restrita às regiões tropicais e subtropicais, compreende cerca de 85% das espécies de cupins conhecidas do Brasil, são conhecidas 2.029 espécies em 250 gêneros. Na região Neotropical são encontradas as famílias Apicotermatinae (cupins sem soldados), Nasutitermitinae, Syntermitinae e Termitinae. Essa família possui a maior variedade de hábitos alimentares e de nidificação, destacando-se espécies construtoras de grandes ninhos complexos (CONSTANTINO, 1999), portanto, reúne diversos especialistas em gêneros: *Angularitermes* (CARRIJO et al., 2011); *Armitermes* (ROCHA; CARRIJO; CANCELLO, 2012); *Orthognathotermes* (ROCHA; CANCELLO, 2009); *Curvitermes* (CARVALHO; CONSTANTINO, 2011); *Cyranotermes* (ROCHA; CARRIJO; CANCELLO, 2012); *Cylindrotermes* (ROCHA; CANCELLO, 2007); *Labiotermes* (CONSTANTINO et al., 2006).

Vários autores examinaram a termitofauna em diferentes fitofisionomias. Destacam-se pesquisas no bioma cerrado no estado de Goiás: em áreas protegidas, pastagem abandonadas e em sucessão secundária do Parque Estadual Altamiro de Moura Pacheco (CUNHA; ORLANDO, 2011) e em diferentes fisionomias no Parque Estadual da Serra de Jaraguá (CARRIJO et al. 2009; OLIVEIRA; CARRIJÓ; BRANDÃO, 2013), outro estudo sobre a termitofauna foi realizado em Bom Jesus – PI (NÚÑEZ et al., 2011). No bioma caatinga destaca-se estudos em Capibaribe – PE (ALVES et al., 2011); em áreas que com diferentes graus de conservação na Estação Ecológica do Seridó – RN (VASCONCELLOS et al., 2010) e em três áreas sob diferentes níveis de perturbação antropogênica – SE (VIANA JÚNIOR et al., 2014). Ambos os trabalhos citados anteriormente concluem que a riqueza, diversidade e distribuição de cupins responde aos diferentes graus de perturbação antrópica.

### 1.2.2 Estudos da Termitofauna epígea na Região Amazônica

Segundo Constantino e Acioli (2006), na Amazônia Brasileira são encontradas as quatro famílias de cupins que ocorrem no Brasil, representadas por 238 espécies. A família Serritermitidae apresenta endemismo da única espécie descrita *Serritermes serrifer*. A família Termitidae apresenta 207 espécies descritas, representa o táxon mais abundante na Amazônia Brasileira, assim como em toda a região Neotropical.

Na região amazônica, Morais et al. (2010) constataram que os cupins estão presentes em diferentes sistemas de uso da terra, porém não apresentam dominância da fauna epígea no alto rio Solimões. Dabros et al. (2012) observaram diferenças no padrão de distribuição e composição de espécies em floresta de terra firme, que apresentou maior riqueza e diversidade quando comparada à uma floresta sob impacto de uma hidrelétrica em Presidente Figueiredo – AM. Mendonça (2009) constatou uma riqueza de 78 espécies de cupins em floresta de terra firme próximo ao município de São Gabriel da Cachoeira na margem esquerda do Rio Negro. Ackerman et al. (2009) contataram diferenças na composição de espécies de cupins em ambientes de floresta primária e sistema agroflorestal em Manaus – AM. Em área de savana amazônica, destaca-se o trabalho de Ruckamp et al. (2012) em Tocantins, que objetivou compreender o impacto de uma importante comunidade de cupins epígeos da espécie *Cornitermes silvestrii* sob a gênese no solo no cerrado brasileiro.

Além disso, novas espécies e gêneros têm sido indentificados na Amazônia (CONSTANTINO; ACIOLI, 2006). Um novo gênero/espécie *Tiunatermes mariuzani* pertencente a subfamília Nasutitermitinae foi descoberta na região do Jalapão – TO, no cerrado brasileiro. No entanto a morfologia do tubo digestivo e o enrolamento indicam que esse novo gênero deve ser colocado no grupo *Subulitermes* (CARRIJO; CUEZZO; SANTOS, 2015). Na Amazônia peruana e equatoriana foi identificada a espécie nomeada *Uncitermes almeriae*, característica pela presença de cerdas curtas que cobrem a cápsula da cabeça e o tubo frontal, além de apresentar particularidades no ninho, até então era conhecida uma única espécie desse gênero, *Uncitermes teevani*, na amazônica pertencente ao gênero *Uncitermes*. A (CARRIJO; CONSTANTINI; SCHEFFRAHN, 2016).

No estado de Roraima, não há estudos aprofundados específicos sobre a ecologia de cupins epígeos, porém há estudos sobre a riqueza, diversidade de assembleias de cupins. Praxedes e Mourão Jr. (2010) verificaram a abundância e diversidade da macrofauna epígea em áreas de savana parque, mata de galeria e uma área de vegetação secundária no município de Boa Vista – RR, a sub-ordem Isoptera foi encontrada na savana e matas de galeria, porém não

apresentou valores de abundância representativos para a macrofauna. Azevedo, Morais e Dabros (2013) contataram uma alta diversidade de cupins no Parque Nacional do Viruá. Bandeira (1991) em um estudo que objetivou averiguar cupins consumidores de liteira na ilha de Maracá, encontrou o gênero *Syntermes* (3 espécies) e *Ruptitermes* (3 espécies). A espécie *Nasutitermes guyanae* foi observada ocasionalmente comendo serrapilheira, visto que alimenta-se mais comumente de madeira, inclusive foram encontradas outras 14 espécies xilófagas do gênero *Nasutitermes* nessa área.

Constantino e Cancelo (1992) revisaram a distribuição geográfica de espécies de cupins na Amazônia brasileira. Em Roraima há o registro de apenas sete colônias de cupins na localidade de Boa Vista. Já na ilha de Maracá, há um número aproximado de 80 amostras de cupins coletados. Segundo os autores citados anteriormente, o esforço de coleta foi muito pequeno, pois, em muitas localidades não houveram coletas.

### 1.3 NIDIFICAÇÃO DOS CUPINS EPÍGEOS

Os ninhos dos cupins, chamados de termiteiros ou cupinzeiros, são construídos a partir do solo juntamente com materiais vegetais (DAVIES et al., 2014). Outros materiais que estão presentes no ninho são o conteúdo fecal e saliva dos cupins, inclusive a saliva desempenha a função de endurecer as paredes dos ninhos, dando a ele uma consistência quase pétreas (ARVETI et al., 2012).

Os cupinzeiros podem ser classificados de acordo com a sua posição em relação ao solo: os ninhos construídos em associação com árvores são denominados arborícolas, quando construídos no subsolo são denominados hipógeos e os ninhos denominados epígeos, que apresentam a maiores estruturas dispostas acima da superfície do solo, porém com partes subterrâneas. A morfologia, tamanho e disposição de galerias da estrutura nidificante estão relacionados às características específicas (FERREIRA et al., 2011; KRISHNA et al., 2013).

A nidificação dos cupins apresenta importância fundamental nos ecossistemas (JUNQUEIRA; GONÇALVES; TEIXEIRA, 2015). Os cupinzeiros exercem forte influência nos processos de decomposição de matéria orgânica, auxiliando na ciclagem de nutrientes e influenciando as propriedades físicas e químicas do solo (MUJINYA et al., 2013).

Os cupinzeiros de espécies epígeas apresentam um grande volume para a proteção contra a eventual predação, inclusive por mamíferos. A arquitetura de galerias está associada ao conforto térmico da colônia, sendo projetadas para proteção contra a dessecação pelo sol, enchentes ocasionais e extremos térmicos de regiões semi-áridas (FUNCH, 2014).

A ocupação dos cupinzeiros pode ser contínua e/ou sequencial, em que são construídos e ocupados inicialmente apenas pela espécie construtora, que funda a colônia inicial (FUNCH, 2014). Os cupinzeiros maiores, mais maduros abrigam numerosas outras espécies de cupins e formigas que habitam ou coabitam essas estruturas, inclusive após a saída da colônia primária (JUNQUEIRA; GONÇALVES; TEIXEIRA, 2015). A ausência de cupinzeiros afeta negativamente outras populações de animais, pois quando abandonados, servem como locais de refúgio e predação para vários invertebrados e vertebrados (ALVES et al., 2011).

### **1.3.1 Importância dos cupins na ciclagem de nutrientes e gênese de solos**

Os cupins são conhecidos como engenheiros de ecossistemas, pois, são responsáveis por produzir manchas de distribuição de nutrientes nos trópicos e sub-trópicos, influenciando na disponibilidade de recursos para outros organismos (KRISTENSEN et al., 2015; SEYMOUR et al., 2014). A modificação de fluxos de nutrientes promovida pelos cupins, é refletida na produtividade e composição das paisagens dos biomas (PERES FILHO et al., 2012).

As propriedades do solo são influenciadas fortemente pela nidificação epígea de cupins, pois, quantidades consideráveis do material de vários perfis de solo são processados continuamente (ARVETI et al., 2012). Os cupinzeiros geralmente concentram nutrientes presentes no solo, que são acumulados ao longo do tempo (MUJINYA et al., 2013), portanto, o tamanho do ninho está positivamente correlacionado com a idade (SEYMOUR et al., 2014).

A alta concentração de matéria orgânica no material dos cupinzeiros, está associada à presença dos cadáveres de predadores nos interiores das galerias do ninho (RÜCKAMP et al. 2012). Além disso, há a presença de matéria orgânica depositada pelos cupins como as fezes e a saliva. Esses materiais dos cupins não são depositados no sistema do solo, portanto, não são disponibilizados para a reciclagem de nutrientes pelos micro-organismos, permanecendo e concentrando-se no ninho (MUJINYA et al., 2013).

A nidificação dos cupins epígeos causa impactos na gênese do solo (SCHAEFER, 2001). Inicialmente, durante a construção de ninhos pelos cupins primários, e continuado pelos cupins secundários, há concentração de nutrientes afetando a distribuição de carbono e fósforo, por exemplo, essa etapa dura longos períodos. Em sequência, ocorre os processos de decaimento do cupinzeiro, dando início à segunda etapa da gênese, os nutrientes concentrados retornam ao solo, influenciando os horizontes mais profundos (RÜCKAMP et al., 2011).

Schaefer (2001) trabalhando com amostras do horizonte B de Latossolos, que é a principal classe de solos do Brasil, atribuiu a estrutura microgranular desses solos como sendo

produto da ação da biota por longo tempo. Há um destaque para os cupins do solo entre os principais organismos envolvidos na gênese dessa classe de solos. Consequentemente, os cupins estão relacionados com a gênese dos principais solos do Brasil. Sarcinelli et al. (2009) destacam a importância dos cupins na gênese de Latossolos na Zona de Mata de Viçosa (MG). Quando os cupinzeiros são submetidos aos processos de intemperismo, proporcionam a redistribuição de material dos cupinzeiros ricos em carbono, fósforo e nitrogênio influenciando na fertilidade do solo (SARCINELLI et al., 2009; SCHAEFER, 2001).

Os cupins podem modificar as propriedades do solo de acordo com suas necessidades ecológicas, portanto, influenciam constantemente na rotatividade de partículas, bem como sua disponibilidade no ecossistema, isso é possível pela mistura de grandes quantidades de solo de diferentes horizontes durante a construção e sustentação dos ninhos (ARVETI et al., 2012). Devido aos hábitos nidificantes, os cupins têm a capacidade de redistribuir partículas do solo em escalas de dezenas de metros, influenciando a composição mineral, a hidrologia, a drenagem e a topografia do solo (PERES FILHO et al., 2012).

Os ninhos epígeos apresentam maiores teores de argila em comparação com os solos circundantes, sugerindo que durante a construção dos ninhos, os cupins têm preferência por partículas finas do solo, ou seja, selecionam as partículas que são transportadas do subsolo por movimento ascendente para a construção e reparação dos seus ninhos (ABE et al., 2011).

A ação dos cupins na concentração de nutrientes e umidade em ilhas, limitam as condições de fertilidade nas matrizes circundantes, favorecendo o crescimento de espécies arbóreas nos cupinzeiros (GOSLING et al., 2011). Dessa forma, são capazes de alterar a distribuição espacial de árvores (DAVIES; BALDEC; ASNER, 2016), onde apresentam maior densidade em torno dos ninhos (JOSEPH et al., 2014). Propriedades físicas dos cupinzeiros, tais como o teor de infiltração de água e sua capacidade de armazenamento, são possíveis fatores que influenciam o crescimento vegetal nos ninhos (ARVETI et al., 2012).

A engenharia ecossistêmica por habitação da macrofauna do solo por formigas, minhocas e cupins, é mundialmente relacionada à heterogeneidade de paisagens (BONACHELA et al., 2015). Os cupins são particularmente importantes em savanas da África, Austrália e América do Sul, pois os cupinzeiros criam condições propícias para o crescimento de vegetação (DAVIES et al., 2014; GOSLING et al., 2012). As partículas de argila enriquecidas dos cupinzeiros retornam ao solo, através de processos erosivos (MUJINYA et al., 2013), determinando os pontos críticos nutricionais. Essa dinâmica juntamente com a ciclagem de nutrientes é responsável pela diversidade de ecossistemas tropicais e por manter a heterogeneidade de paisagens em ambientes de savanas (SEYMOUR et al., 2014).

## 2 OBJETIVOS

Para responder as perguntas que norteiam essa pesquisa foram traçados os seguintes objetivos:

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a diversidade e ação dos cupins sobre os atributos edáficos na Formação Surumu, ambiente de savana no estado de Roraima.

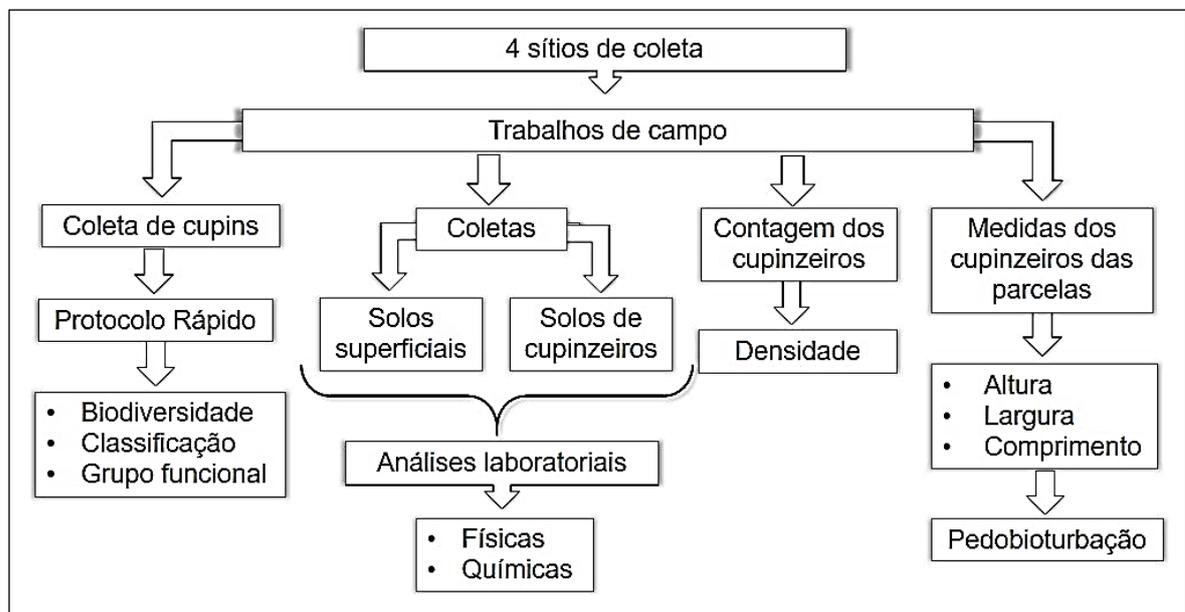
### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estimar a diversidade e abundância de cupins na Formação Surumu;
- Caracterizar morfológicamente os cupinzeiros na Formação Surumu;
- Determinar os grupos funcionais dos cupins na Formação Surumu;
- Determinar os atributos físicos dos materiais de cupinzeiros e solo adjacente e compará-los com as classes de solo;
- Determinar os atributos químicos dos materiais de cupinzeiros e solo adjacente e compará-los com as classes de solo;
- Determinar a densidade e volume de solo de cupinzeiros e correlacionar com as classes de solo.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados foram coletados de setembro a outubro de 2017. Foram realizadas quatro etapas de coleta: (1) Coleta de espécimes de térmitas *in situ* para identificação taxonômica e classificação do grupo funcional; (2) Coleta de amostras de material de cupinzeiros e solo controle para análises laboratoriais físico-químicas; (3) Contagem dos cupinzeiros para calcular a densidade e (4) Coleta das medidas de altura, largura e comprimento para calcular a pedobioturbação promovida pelos cupins (Figura 1).

Figura 1 - Fluxograma das atividades de campo e laboratoriais realizadas durante a execução da pesquisa.



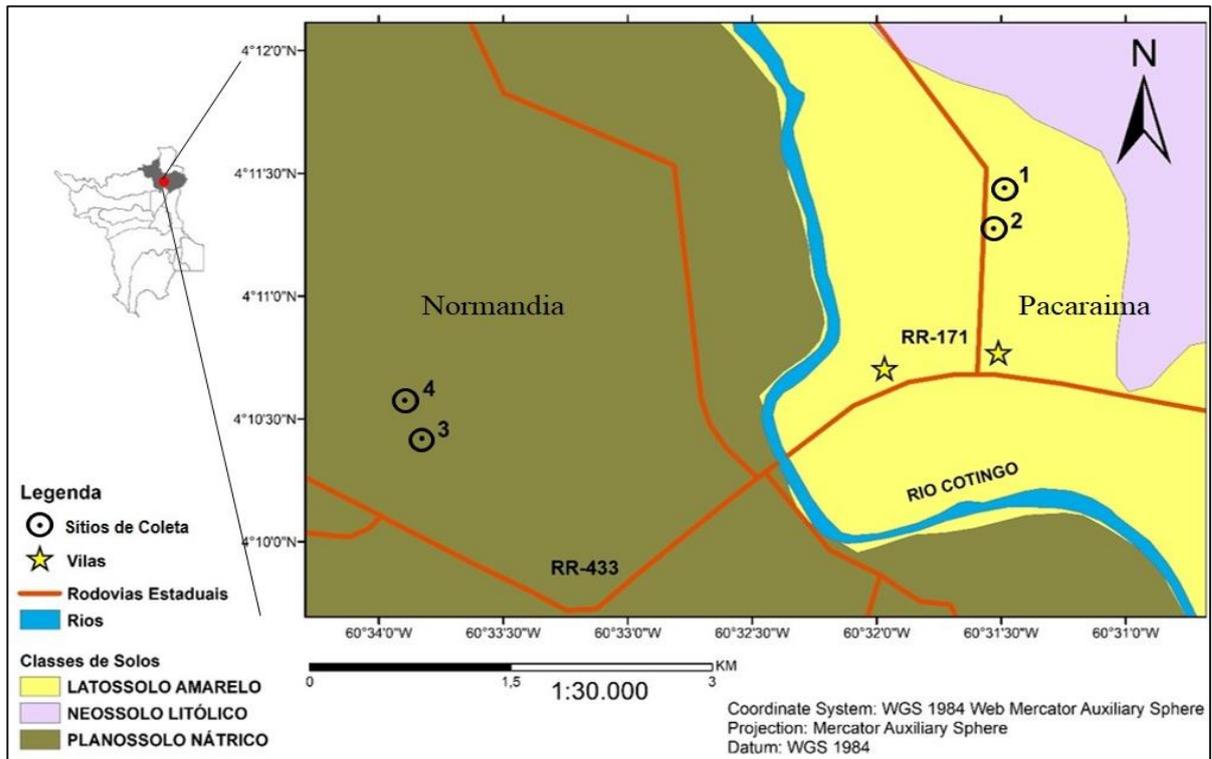
Fonte: AUTOR (2018).

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende a divisa entre os municípios de Pacaraima e Normandia, em ambiente de savana estépica inserido na Formação Surumu. Essa formação originou-se no período Pré-Cambriano Médio (AB'SABER, 1997) e está localizada na parte extrema do nordeste do Estado de Roraima (4.186, -60.5335), como é possível observar na figura 2.

Os sítios de coleta estão envoltos por Rochas graníticas do complexo montanhoso nomeado Formação Serra do Mel. Essa região é marcada por superfícies aplainadas embutidas entre *inselbergs*, que são relevos residuais em planícies, que apresentam vegetação densa e possuem altitudes que variam de 200 e 2.900m.

Figura 2 - Mapa de localização da Área de estudo com as principais classes de solo na Formação Surumu, entre os municípios Normandia e Pacaraima, Nordeste do estado de Roraima.



Fonte: AUTOR (2018).

Nesse ambiente, é comum a presença de cascalheiras de quartzo na superfície denominadas de “Pavimento Desértico”. A paisagem desse ambiente se apresenta de forma tabular e possui sequência de rochas vulcânicas representada por andesitos, dacitos e riolitos, também há a presença de rochas piroclásticas que se distribuem homoganeamente na paisagem (CARVALHO; MILLIOTTI, 2005; SCHAEFER; VALE JÚNIOR, 1997; VALE JÚNIOR; SCHAEFER, 2010). Essa formação está incluída no Cráton Amazônico que abrange quase metade da superfície do Brasil e partes da Bolívia, Colômbia, Venezuela, Guiana, Suriname (BISPO-SANTOS et al., 2014).

A fitofisionomia predominante desse domínio é classificada como vegetação de savana do tipo xerofítica (cerrado acaatingado), apresentando comumente cactáceas nos aforamentos de rochas. Os principais vegetais encontrados são a sucupira-do-campo (*Bowdichia vigilioides* Kunth), pau rainha (*Centrolobium paraense* Tul.) e aroreira (*Astronium ulei* Mattick) que são espécies típicas de áreas que apresentam clima semi-árido. Não há vegetação de ambientes alagados nessa formação, sendo característica a presença de espécies resistentes ao fogo (SCHAEFER, 1997; SCHAEFER; VALE JÚNIOR, 1997; VALE JÚNIOR; SCHAEFER, 2010).

Os sítios de coleta estão localizados na região que registra as mais baixas precipitações pluviométricas do estado, marcada por períodos secos mais prolongado, características típicas da região climática Aw segundo a classificação de Köppen (BARBOSA, 1997), resultando em feições próprias relacionadas às características pedoclimáticas. As cotas altimétricas variam entre 80 a 120 m. Os solos dessa região são de baixa fertilidade, porém, há um desequilíbrio nutricional, apresentando endoeutrofia ocasionada principalmente por altos teores de sódio e magnésio. Apresenta semelhanças mineralógicas com solos do Nordeste brasileiro (MELO et al., 2010; SCHAEFER; VALE JÚNIOR, 1997; VALE JÚNIOR; SCHAEFER, 2010).

### **3.1.1 Caracterização morfológica dos perfis de solo na área de estudo**

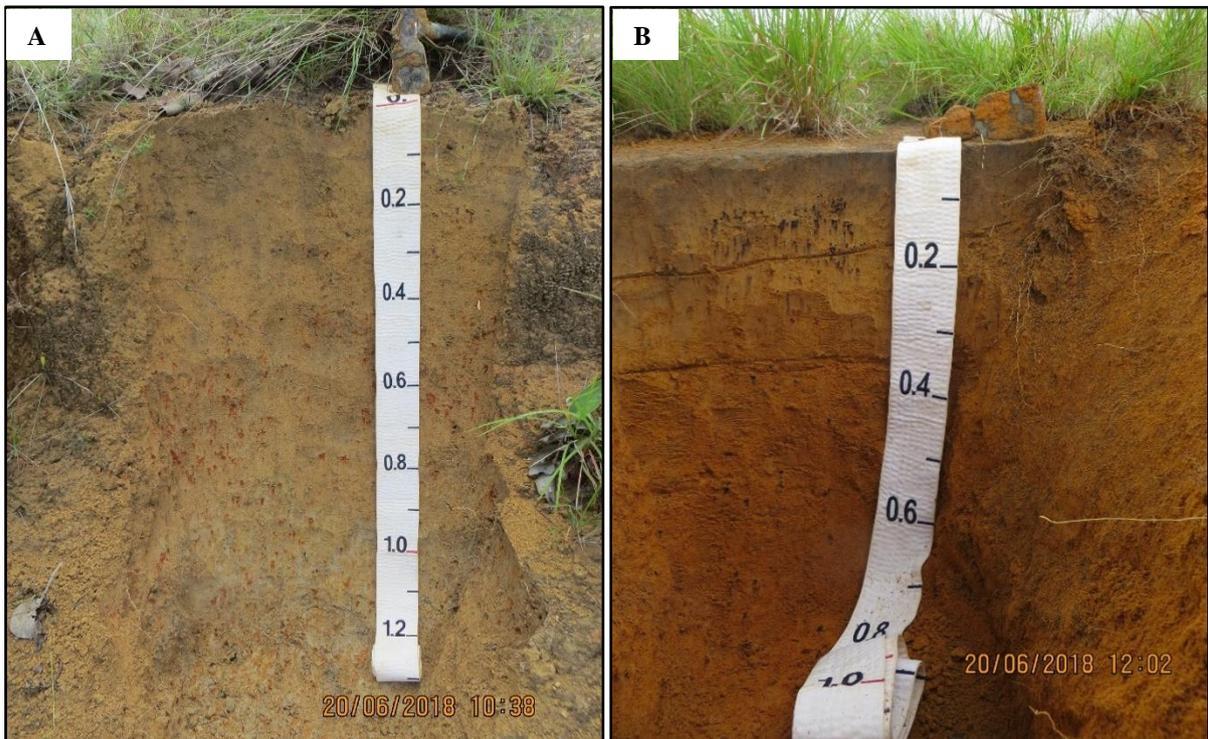
A savana estépica da Formação Surumu é constituída predominantemente Planossolos Nátricos, Latossolos Amarelos, Plintossolos, Luvisolos, Gleissolos e Neossolos Litólicos. Os Planossolos Nátricos apresentam horizonte superficial endurecido, denso e nitidamente delineado resultante da elevada dispersão de argilas e com feições associadas ao hidromorfismo, ocasionando ligeiro encharcamento durante o período chuvoso. Apresentam textura média a argilosa e são característicos por apresentar endoeutrofia, ou seja, são quimicamente pobres, porém apresentam elevados teores de sódio e magnésio em subsuperfície. O caráter sódico está relacionado à a estrutura do tipo colunar ou prismática e dispersão das argilas (SCHAEFER, 1997; SCHAEFER; VALE JÚNIOR, 1997; VALE JÚNIOR; SCHAEFER, 2010).

Nos sítios de coleta 1 e 2 o solo foi caracterizado PLINTOSSOLO HÁPLICO Tb distrófico (FXd), esses solos têm sua formação originada a partir de rochas vulcânicas ácidas da Formação Surumu (dacitos e riódacitos), ou seus produtos, que consistem em sedimentos retrabalhados do período Quaternário (MELO et al., 2010; SCHAEFER; VALE JÚNIOR, 1997; VALE JÚNIOR; SCHAEFER, 2010). O perfil de solo foi descrito até a profundidade de 120 cm, apresentando fase truncada, pois, o horizonte A foi removido por erosão, o Horizonte B2 apresenta profundidade de 20 à 40 cm de, Horizonte B3 de 40 à 90 cm, Horizonte Bg1 de 90 à 100 cm apresenta dominância de cores amareladas e Bg2 a partir do 100 cm apresentando dominância de cores acinzentadas (Figura 3 A). O solo dos sítios 1 e 2 apresentou mais de 15% de plintita, nas seções que compreendem de 20 à 70 cm, com associação de plintitas e petroplintitas, abaixo de 90 cm é observável maior incidência de mosqueado. A coloração é variegada, com dominância da massa do solo de cor acinzentada na matiz 10 YR, com valor 8 e croma 1, enquanto as plintitas apresentaram cores na matriz 7.5 YR, com valor 6 e croma 8

(MÜNSELL, 1994), são solos moderadamente à mal drenados, sendo classificados como PLINTOSSOLO HÁPLIO Tb Distrófico, conforme Embrapa (2013).

Os solos das parcelas 3 e 4 foram classificados como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico (PVA) (EMBRAPA, 2013), que juntamente com os Argissolos Vermelhos dessa região, são originados a partir de produtos do intemperismo de material máfico (MELO et al., 2010; VALE JÚNIOR; SCHAEFER, 2010). O perfil de solo é representado por uma mini-trincheira de 80 cm de profundidade (Figura 3 B), o Horizonte A é moderado, vai até 15 cm seguido do horizonte E de 15 à 25 cm, B textural (Bt) de 25 até 90 cm. É nítida a transição clara e ondulada entre o horizonte A e E e entre o E e o Bt transição abrupta e ondulada, caracterizando solos profundos e bem drenados (EMBRAPA, 2013). As cores de Münsell (1974) para o horizonte A pertencem a atriz 10YR 4/3 (coloração bruno), nos horizontes E e BW pertencem a Matriz 7.5YR 6/8 caracterizando-os Vermelho- amarelos.

Figura 3 - Perfis dos solos nos sítios de coleta. A) Perfil dos sítios de coleta 1 e 2 classificado com Plintossolo Haplíco Tb Distrófico; B) Perfil dos sítios de coleta 3 e 4 classificado como Argissolo Vermelho-amarelo Distrófico típico.



Fonte: AUTOR (2018).

### 3.2 AMOSTRAGEM, IDENTIFICAÇÃO E DEFINIÇÃO DO GRUPO FUNCIONAL DAS ESPÉCIES DE CUPINS

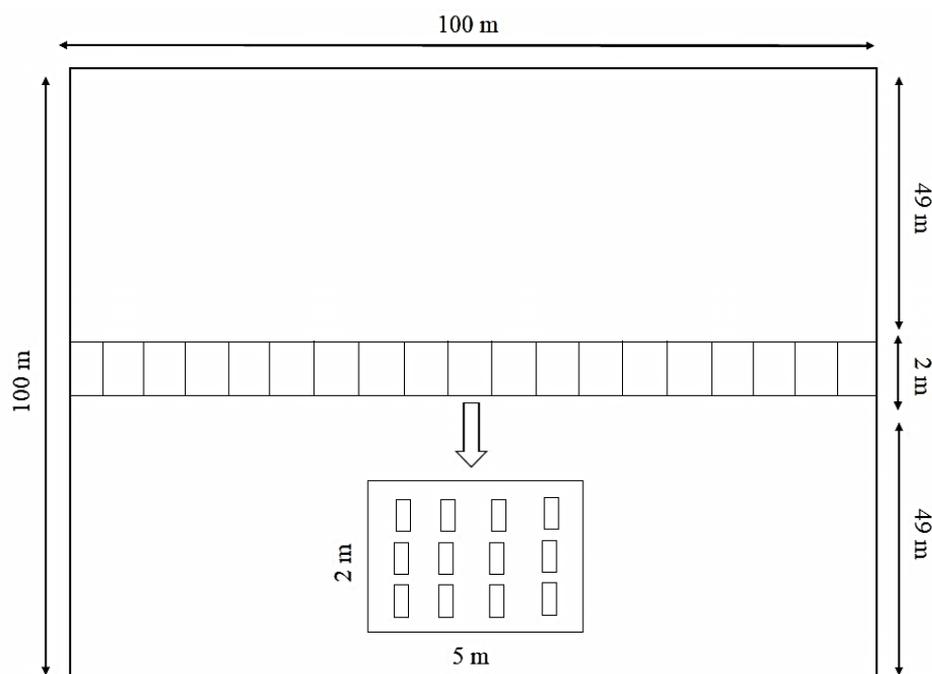
A seguir serão apresentados os procedimentos para amostragem, preservação, identificação, análises da composição faunística e definição dos grupos funcionais espécimes de cupins coletados.

#### 3.2.1 Amostragem de cupins

As técnicas para a amostragem de cupins *in situ* foram adaptadas de um Protocolo Rápido de Avaliação da Biodiversidade descrito por Jones e Eggleton (2000). Esse método apresenta eficácia, pois proporciona amostragens representativas da termitofauna na montagem global de cupins locais, refletindo diferenças reais entre os sítios de coletas.

O protocolo consiste em um transecto de 100 m de comprimento e 2 m de largura e dividido em 20 seções contíguas de 5 x 2 m e numeradas em sequência, esse delineamento promove o aumento da taxa de acumulação das espécies, dessa forma minimizando as chances de ocorrerem pseudoréplicas (JONES; EGGLETON, 2000). A demarcação do transecto foi traçada no centro das parcelas de 1 hectare no sentido norte-sul (Figura 4).

Figura 4 - Esquema do transecto adaptado de Jones e Eggleton (2000) para amostragem de cupins na Formação Surumu, Roraima.



O esforço amostral foi de 20 minutos para 4 coletores treinados, totalizando 1h e 20 minutos de coleta por seção. Em cada seção procurou-se micro-habitats de gramíneas, cupinzeiros epígeos, ninhos subterrâneos e arbustos para coletar os espécimes. No total 12 amostras aleatórias de solo superficial (medidas = 12 × 12 cm, a 15 cm de profundidade) foram coletados por seção para a procura de cupins (JONES; EGGLETON, 2000). Nas seções que apresentavam cupinzeiro epígeo, o mesmo representou uma amostra.

Os cupins foram coletados e separados do solo do ninho e no entorno manualmente com a ajuda de uma pinça de ponta fina (entomológica) e armazenados em frascos contendo álcool 70%, para posteriores análises laboratoriais (CONSTANTINO, 2016). Embora na mesma amostra houvesse espécimes de colônias distintas, as mesmas foram armazenadas nos mesmos frascos representando uma única amostra, ou seja, apresentavam a mesma etiqueta (BIGNELL, et al., 2012; JONES; EGGLETON, 2000).

Foram coletados aproximadamente de 20 a 30 indivíduos de soldados e operárias em ninhos epígeos e em amostras de solo, algumas cavas não apresentavam espécimes, ou um pequeno número de cupins pertencente a mesma casta. Quando possível também foram coletadas as castas férteis. As informações sobre as características dos cupinzeiros, local de coleta, data e informações adicionais como coordenadas e observações foram mantidas no caderno de campo (CONSTANTINO, 1999).

### **3.2.2 Diversidade e definição do grupo funcional de cupins**

Após os trabalhos de campo, os cupins foram separados do solo e outros detritos, principalmente vegetais. Os frascos foram limpos e foi adicionado álcool 70%, houve a separação em unidades taxonômicas reconhecíveis, ou morfoespécies ou espécies nomeadas. Cada morfoespécie passou a ser uma subamostra, e passaram a receber novos rótulos. Todas as informações taxonômicas e outras informações relevantes foram passadas para um caderno de laboratório (BIGNELL et al., 2012).

Para a identificação a nível de gênero, foram usadas a Chave ilustrada para identificação de gênero de cupins (Insecta: Isoptera) que ocorrem no Brasil (CONSTANTINO, 1999) e Chave ilustrada “An illustrated Key to Neotropical termite genera (Insecta: Isoptera) based primarily on soldiers” (CONSTANTINO, 2002), além do auxílio do Manual de coleta e identificação de cupins (CONSTANTINO, 2016). As observações morfológicas das estruturas da mandíbula, pilosidade e forma da cabeça, espinhos e cerdas da perna anterior do soldado

foram feitas utilizando um microscópio binocular. No caso de espécimes da subfamília Apicotermatinae a classificação foi baseada na casta dos operários.

A dominância das espécies foi calculada para cada transecto e para área total pela dominância de espécies proposta por Bodenheimer (1955) e adaptada posteriormente por Silveira Neto et al. (1976) pela seguinte fórmula:

$$Dominância = \frac{i}{t} \times 100$$

$i$  = total de ninhos registrados para espécie

$t$  = total de ninhos registrados

Os resultados das espécies que apresentarem dominância > 10%, são classificadas espécies Eudominantes; valores de 5 à 10%, classificadas espécies Dominantes; entre 2 à 5%, classificadas espécies Subdominantes; entre 1 à 2%, classificadas espécies Recessivas e  $D < 1\%$  classificadas espécies Raras (NÚÑEZ et al., 2011).

Foram calculados índices de diversidade de Shannon-Wiener ( $H'$ ) e Simpson ( $D$ ) para os quatro transectos, objetivando compará-los (BIGNELL et al., 2012). Esses índices de heterogeneidade são calculados com base na riqueza e equabilidade, sendo muito usados em estudos de biodiversidade.

O Índice de  $H'$  é utilizado quando a comunidade inteira não pode ser inventariada, têm o objetivo de estimar a diversidade de comunidades infinitamente grande, que são amostrados aleatoriamente, é calculado pela seguinte fórmula:

$$H' = \sum_{i=1}^s p_i - \ln p_i$$

$p_i$  = Abundância relativa (proporção) de espécies  $i$  na amostra

$$p_i = n_i / N$$

$n_i$  = número de indivíduos da espécie  $i$

$N$  = número total na amostra

O Índice de Simpson (D) utiliza análises quantitativas de comunidades biológicas, fornecendo a ideia da probabilidade de se coletar aleatoriamente 2 indivíduos da comunidade pertencerem obrigatoriamente à espécies diferentes, sendo classificado por alguns autores como índice de Dominância (BIGNELL et al., 2012).

$$D = \sum_{i=1}^s p_i^2$$

$p_i$  = Abundância relativa (proporção) de espécies  $i$  na amostra

$$p_i = n_i / N$$

$n_i$  = número de indivíduos da espécie  $i$

$N$  = número total na amostra

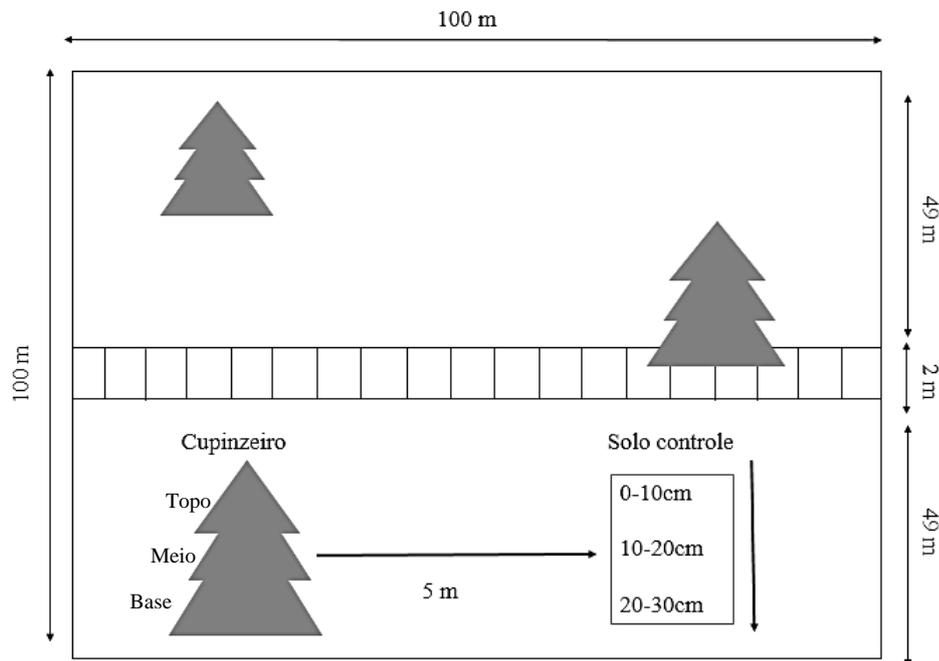
Os padrões de nidificação da assembleia local de cupins foram divididos em categorias de acordo com o a sua localização: ninhos epígeos, hipógeos, arborícolas, intermediários e difusos no solo (CONSTANTINO, 1999; FERREIRA et al., 2011; KRISHNA et al., 2013). Os cupins foram categorizados em quatro grupos alimentares principais: humívoros, xilófagos, ceifadores e intermediários (DONOVAN; EGGLETON; BIGNELL, 2001; RESENDE, 2012; SOUZA; ALVES; VASCONCELLOS, 2012), essa classificação foi feita com base no habitat, morfologia da mandíbula e material intestinal.

### 3.3 AMOSTRAGEM DE SOLOS CONTROLE E DE CUPINZEIROS

Em cada sítio de coleta foram adotados os critérios das medidas de altura e circunferência dos cupinzeiros para a seleção de cupinzeiros maiores que são considerados maduros e que estivessem ativos. A partir dessas observações, foram escolhidos aleatoriamente 3 cupinzeiros em cada sítio para as coletas, totalizando 12 cupinzeiros (VASCONCELLOS et al., 2010). Os cupinzeiros foram divididos em três seções: base da superfície do solo, centro e topo, o material destas três seções foi coletado por raspagem e quebra do ninho com o auxílio de talhadeiras e martelo pedológico. As amostras de cada seção foram coletadas em triplicata formando uma única amostra composta de solo (SARCINELLI et al., 2009).

Para cada ninho coletado, coletou-se o solo controle, que consiste em uma amostra de solo distante aproximadamente 5 metros do cupinzeiro, o objetivo foi excluir a suposta influência dos cupins sobre o solo (Figura 5). As amostras de solo controle, também foram coletadas em três seções distintas, de 0 – 10 cm, 10 – 20 cm e 20 – 30 cm. Todas as seções foram coletadas em triplicata formando uma amostra composta de solo (JOUQUET et al., 2015; SEYMOUR et al., 2014).

Figura 5 - Esquema do sítio de coleta e amostragem das diferentes seções de cupinzeiros e solos controle na Formação Surumu, Roraima.



Fonte: AUTOR (2018).

### 3.4 ANÁLISES LABORATORIAIS FÍSICAS E QUÍMICAS DOS SOLOS DOS CUPINZEIROS E SUPERFICIAIS

As amostras de solos coletados dos cupinzeiros e de solos superficiais foram conservadas e transportadas aos Laboratórios de Análises de Solos, Tecido Vegetal e Fertilizante do Departamento da Universidade Federal de Viçosa – UFV – MG onde foram submetidas as análises físicas e químicas de rotina baseadas em protocolos do Manual de Métodos de Análise do solo proposto por Embrapa (DONAGEMA et al., 2011). Foram analisadas fisicamente a composição granulométrica para determinação dos teores de areia grossa, areia fina, argila, silte e densidade do solo.

As análises químicas consistiram na determinação dos teores de pH em água; Potássio (K), Fósforo (P) e sódio (Na) extraídos com o reagente Extrator: Mehlich-1; teores de Cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), Magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) e Alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ) extraídos com o reagente Extrator: KCl - 1 mol/L; Acidez Potencial do solo ( $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ); nitrogênio total (N) e Matéria Orgânica (MO) determinada pela concentração de Carbono Orgânico x 1,724 -Walkley-Black.

De acordo com os resultados químicos foram calculadas a Soma de Bases Trocáveis (SB); Capacidade de Troca Catiônica Efetiva (t); Capacidade de Troca Catiônica (T) a pH 7,0; Índice de Saturação por Bases (V), Índice de Saturação por Alumínio (m) e Índice de Saturação por Sódio (ISNa).

### 3.5 DENSIDADE E VOLUME DE SOLO NOS CUPINZEIROS

A metodologia utilizada para a contagem dos cupinzeiros para o cálculo da densidade total e volume total em cada parcela foi adaptada do trabalho de Sarcinelli et al. (2009). Inicialmente foram contados e georreferenciados todos os cupinzeiros epígeos da espécie *Amitermes excellens* em cada parcela para determinação de cupinzeiros por hectare.

Foram tomadas as medidas de altura e circunferência na base dos cupinzeiros utilizando uma fita métrica, essas medidas foram usadas para o cálculo do volume do solo retrabalhado pelos cupins acima do solo (pedobioturbação). Utilizou-se a fórmula do cone, assumindo o formato arquitetônico dos cupinzeiros (JOUQUET et al., 2015):

$$Volume = \frac{\pi \times \text{raio médio} \times \text{altura}}{3}$$

O cálculo do volume total de pedobioturbação foi obtido somando os volumes de todos os cupinzeiros dentro da parcela. Os valores dos volumes dos cupinzeiros foram divididos por 30 anos, levando em consideração que essa é a vida útil dos cupinzeiros para estimar o manto erodido dos cupinzeiros em  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$  dentro de 10.000 anos (SARCINELLI et al., 2009).

Foi feito um diagrama hipotético de bloco-diagrama contendo informações georreferenciadas acerca da distribuição dos cupineiros nas diferentes classes de solo na paisagem da Formação Surumu.

### 3.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para comparar as variáveis químicas e físicas, tratando como unidades amostrais os materiais dos cupinzeiros e solos superficiais em suas diferentes seções e entre as diferentes classes de solo, foi aplicado estatística multivariada de Análise de Componentes Principais (PCA) com o objetivo de reduzir a dimensionalidade para uma representação mais compacta para ordenação das informações mais relevantes (HONGYU; SANDANIELO; OLIVEIRA JUNIOR, 2016).

Foi realizada a análise de variância (ANOVA) a medidas repetidas para o Primeiro Componente principal (PC1) e Segundo Componente principal (PC2) usando a identidade do cupinzeiro como fator aleatório, em seguida os resultados da ANOVA foram submetidos ao pós-teste de Tukey para averiguar quais foram as diferenças significativas entre as diferentes seções do cupinzeiro e do solo.

Para variáveis físicas e químicas que apresentaram teores com maior diferenciação significativa observados nos resultados da PCA, foram calculados o incremento relativo (IR) pela fórmula:

$$IR = \frac{\text{teor no cupinzeiro} - \text{teor no solo}}{\text{teor no solo}}$$

Após o cálculo do IR foi ajustada equação de regressão linear simples entre os valores do IR e o teor no solo separadamente para as variáveis químicas: K, Ca<sup>2+</sup>, N, SB, CTC e MO; e variáveis físicas: silte e argila nas diferentes classes de solo para investigar a relação entre ambas (FARIA, 2012).

A densidade dos cupinzeiros e o volume dos cupinzeiros foram comparadas entre as diferentes classes de solos através de um teste t pareado para amostras independentes. Foram aplicadas regressões lineares para avaliar as relações entre o volume dos cupinzeiros e sua altura e circunferência e altura, nas diferentes classes de solos (JOUQUET et al., 2015). Todas as análises estatísticas foram realizadas no Programa R 3.5.0 (R Development Core Team, 2018), adotando como nível de significância estatística  $p \leq 0,05$ .

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir são apresentados os resultados e discussões dessa pesquisa.

### 4.1 DIVERSIDADE E DIFINIÇÃO DE GRUPOS FUNCIONAIS DE CUPINS

Os resultados da diversidade e classificação com base na alimentação da assembleia de cupins na Formação Surumu, serão abordadas nas duas subseções seguintes.

#### 4.1.1 Análise da composição faunística da assembleia de cupins na Formação Surumu

A composição faunística nos quatro transectos que compreendem a área de estudo, apresenta um total de 668 amostras de cupins coletadas. Essas amostras estão distribuídas em 16 espécies e morfoespécies pertencentes à 8 gêneros e duas famílias. A família Rhinotermitidae é representada por uma única espécie (*Heterotermes* sp.1), abrange apenas 0,1% da abundância total. A família Termitidae apresenta maior abundância (99,99%), está subdividida em três subfamílias: Apicotermitinae, representada por 7 espécies, apresentando abundâncias de 64,59%, seguida de Nasutitermitinae, representada por 5 espécies, apresentando abundâncias de 33,99% e Termitinae representada por 3 espécies, apresentando abundâncias de 1,69% (Tabela 1).

O gênero mais abundante foi *Anoplotermes*, representada por 5 espécies, seguido do gênero *Nasutitermes*, representada por 3 espécies e do gênero *Termes*, representada por 2 espécies, os outros gêneros são representados por uma única espécie. As espécies mais abundantes que ocorreram em todos os transectos são *Anoplotermes* sp.1 (122); *Anoplotermes* sp.4 (112) e *Nasutitermes* sp.1 (129). As espécies *Anoplotermes* sp.5, *Cortaritermes intermedius* e *Rupititermes fransiscoi* também apresentaram ocorrência nos quatro transectos, porém com menor número de encontros (Tabela 1).

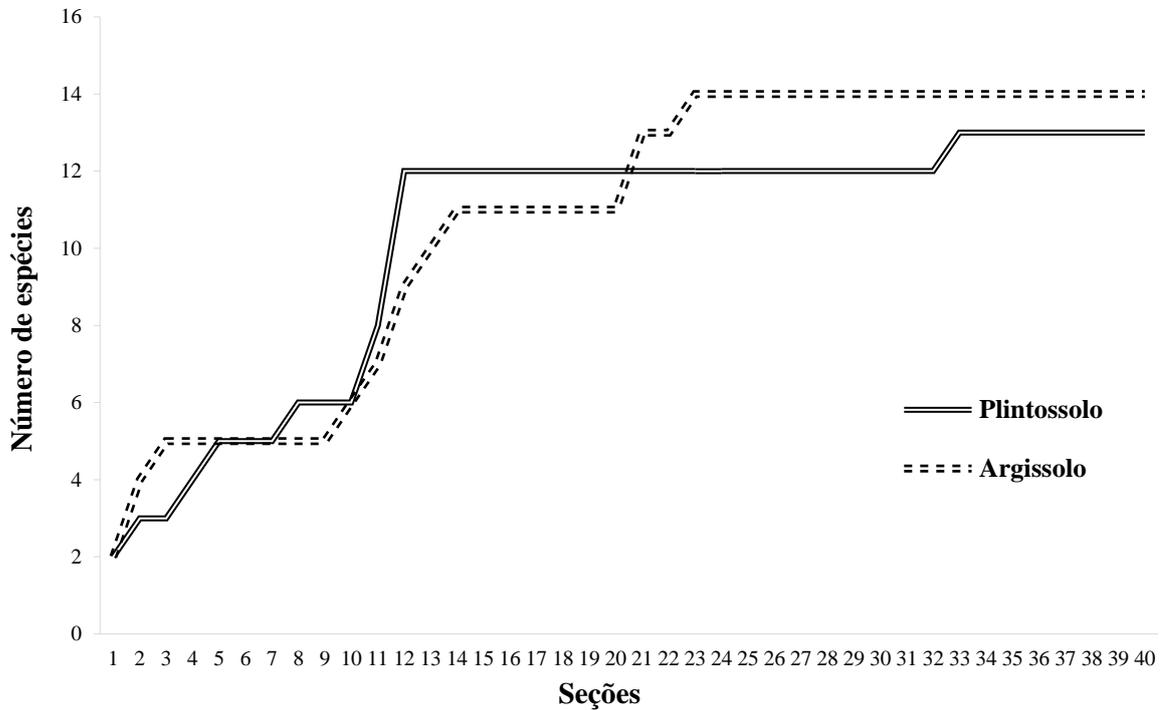
A curva de acumulação de espécies evidencia esforço amostral suficiente para as duas classes de solo. Nos transectos 1 e 2, que compreendem o Plintossolo, a curva registra tendência à estabilização a partir da seção 12, embora tenha sido acumulada mais uma espécie na seção 32, houve estabilização nas oito últimas seções. Os transectos 3 e 4, que compreendem o Argissolo não apresentam acúmulo crescente, pois estabiliza em algumas seções até chegar a seção 23, não havendo mais acréscimos de espécies (Figura 6).

Tabela 1 – Riqueza, abundância, dominância de espécies e índices de diversidade de cupins nos quatro transectos na Formação Surumu, Roraima.

<b>Espécies</b>	<b>Trans. 1</b>	<b>Trans. 2</b>	<b>Trans. 3</b>	<b>Trans. 4</b>	<b>Total de encontros</b>	<b>Dominância de espécies</b>
<b>Família Rhinotermitidae</b>						
<i>Heterotermes</i> sp.1	0	0	0	1	1	Rara
<b>Família Termitidae</b>	-	-	-	-	-	-
<b>Subfamília Apicitermitinae</b>	-	-	-	-	-	-
<i>Anoplotermes</i> sp.1	53	10	17	42	122	Eudominante
<i>Anoplotermes</i> sp.2	9	7	2	9	27	Subdominante
<i>Anoplotermes</i> sp.3	5	7	4	12	28	Subdominante
<i>Anoplotermes</i> sp.4	24	57	9	22	112	Eudominante
<i>Anoplotermes</i> sp.5	20	47	13	1	81	Eudominante
<i>Grigiotermes</i> sp.1	3	0	0	0	3	Rara
<i>Rupitermes fransiscoi</i> (Snyder, 1946)	17	24	6	10	57	Dominante
<b>Subfamília Nasutitermitinae</b>	-	-	-	-	-	-
<i>Cortaritermes intermedius</i> (Banks, 1919)	25	13	18	9	65	Dominante
<i>Nasutitermes</i> sp.1	25	17	54	34	130	Eudominante
<i>Nasutitermes</i> sp.2	5	4	9	8	26	Subdominante
<i>Nasutitermes</i> sp.3	1	0	1	2	4	Rara
<i>Velocitermes</i> sp.1	0	0	1	0	1	Rara
<b>Subfamília Termitinae</b>	-	-	-	-	-	-
<i>Amitermes excellens</i> (Silvestre, 1923)	3	1	0	5	9	Recessiva
<i>Termes</i> sp.1	0	0	1	0	1	Rara
<i>Termes</i> sp.2	0	0	0	1	1	Rara
<b>Total de amostras</b>	190	187	135	156	668	-
<b>Espécies</b>	12	10	12	13	-	-
<b>Índice de Shannon (H')</b>	2.10	1.90	1.75	2.02	-	-
<b>Índice de Simpson (D)</b>	0.84	0.81	0.78	0.84	-	-

Fonte: AUTOR (2018).

Figura 6 - Curva de acumulação de espécies para cada classe de solo que correspondem os quatro transectos na Formação Surumu, Roraima.



Fonte: AUTOR (2018).

O padrão de ocorrência das espécies indicou a presença de 10 espécies frequentes, ou seja 62,5 % das espécies encontradas em todos os transectos e seis espécies são raras, configurando 37,5% das espécies encontradas em até quatro amostras. Quatro espécies são consideradas eudominantes, constituindo 66,62% do total da abundância nos quatro transectos, duas espécies dominantes (18,26%), três espécies subdominantes (12,12%), apenas uma espécie recessiva (1,35%) e seis espécies raras (1,80%), a dominância das espécies pode ser observada na tabela 1.

As espécies mais abundantes são justamente as eudominantes e dominantes, seguida das espécies menos frequentes que são subdominantes. As espécies raras são: *Grigiotermes* sp.1, que apresenta 3 encontros apenas no transecto 1 e *Nasutitermes* sp.3, que apesar de ser encontrada em três dos quatro transectos, apresenta apenas 4 encontros no total. A maioria das espécies raras apresentam um único encontro, são elas: *Heterotermes* sp.1, *Termes* sp.1, *Termes* sp.2 e *Velocitermes* sp.1.

A transecção ocorreu aleatoriamente, visto o grande tamanho e volume dos ninhos epígeos de *Amitermes excellens*, não foram abrangidos por todas as transecções, apenas os transectos 1 e 4 incluíram ninhos epígeos, no transecto 2 amostras dessa espécies foram

encontradas forrageando no solo e o transecto 3 não apresentou nenhuma amostra, portando, apesar de ser classificada recessiva, não é representada satisfatoriamente pelos transectos, sendo *A. excellens* considerada subdominante nas áreas de estudo. O gênero *Amitermes*, cosmopolita em florestas tropicais e encontrado em uma grande variedade de habitats, é o segundo maior gênero da sub-família Termitinae, com 111 espécies descritas no mundo, no Brasil são descritas 4 espécies do gênero *Amitermes* (CONSTANTINO, 1999; OLIVEIRA, 2018).

Não são observadas diferenças da composição faunística de espécies consideradas eudominantes, dominantes e subdominantes entre as duas classes de solo. Com relação as espécies consideradas raras, o Plintossolo, apresenta 3 espécies e o Argissolo apresenta 4 espécies, ambas têm em comum a espécie *Nasutitermes* sp.3. Em relação ao número total de amostras, o Plintossolo apresenta um somatório de 377 amostras que correspondem a abundância total de 56,44%, enquanto que o Argissolo apresenta um somatório de 291 amostras, ou seja 43,56% da abundância total.

O índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ) indica maior diversidade da termitofauna no transecto 1 ( $H'=2.10$ ), seguido dos transectos 4 ( $H'=2.02$ ), 2 ( $H'=1.90$ ) e 3 ( $H'=1.75$ ). A variação na abundância foi detectada pelo índice no transecto 3, visto que apresenta menor valor total de amostras (135) que refletido no menor valor de diversidade se comparada aos outros transectos. O índice de Shannon-Wiener é sensível à espécies raras, portanto o menor valor do índice no transecto 3 indica maior porcentagem de espécie raras, seguida pelos transectos 2,4 e 1.

O índice de Simpson ou dominância de espécies (D) apresenta maior diversidade da termitofauna epígea no transecto 3 ( $D=0.78$ ), seguido dos transectos 2 ( $D=0.81$ ) e 1 e 4 que apresentam o mesmo valor calculado ( $D=0.84$ ). A captura da variação das distribuições de abundância apresenta maior estabilização das amostragens nos quatro transectos pois atribui pouco peso às espécies raras, portanto, são as espécies frequentes que apresentam maior porcentagem na diversidade desse índice.

No geral, os valores do índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ) e Simpson (D) são muito parecidos nos quatro transectos estabelecidos na Formação Surumu, essa homogeneidade nos resultados indica que não há grandes diferenças na diversidade de cupins entre o Argissolo e o Plintossolo. Diferentes valores de índices de diversidade são encontrados quando comparadas diferentes fitofisionomias, ambientes ou comparação áreas conservadas com áreas convertidas ou degradadas, pois a composição faunística difere em relação a espécies que vivem especificamente em cada ambiente, geralmente o maior valor de  $H'$  ocorre em ambientes que apresentam vegetação original, sem influência ou ações antrópicas (CARRIJO et al., 2009).

A baixa amostragem da família Rhinotermitidae se dá pelo fato de ser constituída em sua maioria por cupins subterrâneos. A alta ocorrência da família Termitidae era um resultado já esperado, pois dentre as quatro famílias que ocorre no Brasil, é a mais diversificada, abrangendo cerca de 85% das espécies de cupins conhecidas, pois é amplamente distribuída nas regiões tropicais e subtropicais (AZEVEDO; MORAIS; DABROS, 2013; BOURGUIGNON; EPONCE; ROISIN, 2011; CONSTANTINO, 1999; RESENDE, 2012;). A família Kalotermitidae (cupins primitivos) têm fatores que dificultam sua captura, pois, apresentam hábitos de nidificação apenas no interior da madeira seca e dura ou em troncos vivos e nunca entram em contato com o solo, além de serem mais comuns em ambientes florestais não perturbados, explicando a ausência de sua amostragem da Formação Surumu (CONSTANTINO, 1992; DONOVAN; EGGLETON; BIGNELL, 2001; VIANA JÚNIOR et al., 2014). Havia a possibilidade de amostragem da espécie *S. serrifer*, visto que sua distribuição abrange ambientes de cerrado e savanas amazônicas, porém, sua amostragem depende da presença de cupinzeiros do gênero *Cornitermes*, por serem inquilinas obrigatórias dos ninhos desse gênero (CONSTANTINO, 1999; CONSTANTINO; ACIOLI, 2006).

A Formação Surumu compreende bioma de savana amazônica, por esse motivo, os resultados da fauna de cupins nessa pesquisa, são comparados à trabalhos de biomas similares. No Goiás, bioma cerrado, um levantamento em áreas de pasto abandonado revelou 17 gêneros pertencentes às famílias Kalotermitidae (1 espécie), Rhinotermitidae (2 espécies) e Termitidae (16 espécies), totalizando 19 espécies (CUNHA; ORLANDO, 2011). Outro estudo que objetivou avaliar cerrado conservado e áreas convertidas em pastagem, a riqueza de espécies foi 21 e 17 respectivamente, totalizando 29 espécies nas duas áreas, visto que compartilhavam 9 espécies (CARRIJO et al., 2009). Em Pernambuco, bioma caatinga, constatou-se uma riqueza de 26 espécies de cupins em três áreas de diferentes graus de conservação (VASCONCELLOS et al., 2010); outro estudo para o mesmo bioma no Rio Grande do Norte averiguou baixa riqueza de espécies, Kalotermitidae e Rhinotermitidae, que foram representadas por uma única espécie cada, Termitidae (8 espécies), totalizando 10 espécies (ALVES et al., 2011). Outro levantamento em Sergipe apresentou um total de 12 gêneros e 16 espécies, a maior abundância e riqueza pertence família Termitidae, seguido de Kalotermitidae e Rhinotermitidae com uma espécie cada (VIANA JÚNIOR et al., 2014).

Diante do levantamento feito na literatura sobre a termitofauna em ambientes semelhantes em clima, vegetação e aspectos gerais do solo, podemos inferir que a riqueza e diversidade de cupins encontrados na Formação Surumu (savana amazônica) se assemelha aos biomas de cerrado e caatinga com relação ao número de espécies e a dominância da família

Termitidae. A composição e riqueza de espécies de cupins, podem ser explicados por muitas variáveis que interagem entre si de forma complexa, tais como classe e profundidade de solo (ARVET et al., 2012), clima (temperatura, umidade, pluviosidade) e a fitofisionomia (ARAÚJO; SILVA; VASCONCELLOS, 2015; COUTO et al., 2015; CUNHA; COSTA; BRANDÃO, 2006; DABROS et al., 2012).

A Formação Surumu, apresenta características climáticas que configuram baixa precipitação anual (BARBOSA, 1997), assim como o cerrado e caatinga, sendo nesse estudo considerados biomas similares, ambos apresentam baixa precipitação pluviométrica, na região do Surumu, o período chuvoso se concentra em três meses do ano (ALVES et al., 2011; BARBOSA, 1997; VIANA JÚNIOR et al., 2014). O clima modifica toda a paisagem, a baixa diversidade na vegetação, reduz os habitats específicos de espécies exclusivas, visto que cada fisionomia tem uma composição diferente de espécies de cupins, a ausência desses habitats influencia na composição da assembleia local de cupins (CONSTANTINO; ACIOLI, 2006; COUTO et al., 2015). A ausência de vegetação densa na Formação Surumu limita e impossibilita o substrato para a construção de ninhos arborícolas de diversas espécies de cupins, inclusive *A. excellens*, que nesse ambiente constrói preferencialmente ninhos epígeos (BEZERRA-GUSMÃO et al., 2011).

A baixa taxa produtividade primária em ambientes de vegetação aberta, influenciam fortemente a riqueza, densidade e composição de cupins, pois os níveis de produtividade influenciam a concentração de matéria orgânica no solo (ALVES et al., 2011; VIANA JÚNIOR et al., 2014). A disponibilidade de matéria orgânica, é um dos principais fatores edáficos, que juntamente com os fatores climáticos aumentam a capacidade de sobrevivência dos cupins e, por isso, pode interferir na sua distribuição (SOUSA; COMINOTE; MORETTI, 2014), sendo a disponibilidade de alimentos e a umidade do solo variáveis que minimizam os efeitos climáticos sobre a fauna de cupins do solo (ARAÚJO; SILVA; VASCONCELLOS, 2015). Nesse estudo, ambas as classes de solo apresentam características químicas edáficas similares, em geral são pobres quimicamente (MELO et al., 2010; SCHAEFER; VALE JÚNIOR, 1997; VALE JÚNIOR; SCHAEFER, 2010), portanto, podemos inferir que os atributos edáficos não disponibilizam as condições necessárias para ser o habitat de muitas espécies de cupins, principalmente espécies mais exigentes, que habitam lugares específicos (ARAÚJO; SILVA; VASCONCELOS, 2015; BOURGUIGNON et al. 2015; SILVA et al., 2015).

A eudominância de cupinzeiros de *A. excellens* na Formação Surumu pode explicar a baixa diversidade de cupins. Seus grandes ninhos epígeos ocupam grandes extensões do solo superficial e subsolo, impedindo maior parte a taxa de alimentação do solo por outros cupins. A

diminuição da disponibilidade de alimento para outros cupins, configura competição inter-específica, responsável por controlar as assembleias de cupins em savanas (ARAÚJO; SILVA; VASCONCELLOS, 2015; DAVIES et al., 2014). A competição inter-específica impede que outras espécies epígeas coabitem a mesma área, essa ausência de outros grandes ninhos influencia não somente a riqueza de espécies construtoras, pois, há espécies que são inquilinas obrigatórios e que habitam ou coabitam ninhos de construtores específicos, um exemplo são ninhos de *Cornitermes* sp. que abrigam até 10 espécies inquilinas (CONSTANTINO, 1999).

Embora a diversidade em savanas seja considerada baixa se comparada à sistemas florestais, ainda assim, exercem importante papel ecológico, pois as espécies que vivem nesses ambientes são muitas vezes exclusivas, sendo sua abundância diminuída significativamente ou até mesmo desaparecendo em processos de conversão de habitats, sendo portanto, bioindicadores da qualidade e conservação do ambiente (ALVES et al., 2011; CARRIJO et al., 2009; CUNHA 2006; VASCONCELLOS et al., 2010; VIANA JÚNIOR et al., 2014).

#### **4.1.2 Análise dos padrões de nidificação e composição funcional da assembleia de cupins da Formação Surumu**

O padrão de nidificação na área de estudo é constituído por 6 espécies construtoras ninhos difusos no solo (40%), 6 espécies que constroem ninhos hipógeos (40%) e 3 espécies construtoras de ninhos epígeos (20%), não foram encontradas espécies construtoras de ninhos arborícolas e apenas uma espécie foi classificada inquilina, trata-se de *Grigiotermes* sp.1 encontrada em galerias internas na base de cupinzeiro de *A. excellens* (Quadro 1).

A principal espécie construtora de ninhos epígeos é *A. excellens* (subfamília Termitinae), as outras duas espécies são *Cortaritermes intermedius* e *Nasutitermes* sp.1 (subfamília Nasutitermitinae), ambas constroem ninhos conspícuos quase sempre associados à gramíneas, são pequenos, variando de 15 a 25 centímetros característicos pela formato arredondado, coloração acinzentada e baixa dureza (Figura 7C e D).

Os cupinzeiros de *A. excellens* são responsáveis por modificar inteiramente a paisagem na área de estudo, podendo chegar até 4 metros de altura em ambientes de savanas amazônicas (OLIVEIRA, 2018). As estruturas dos cupinzeiros apresentam consistência pétreas, a coloração acinzentada varia na matiz 10 YR 8/1 à 10YR 2/1 (MUNSELL, 1994). O tamanho dos cupinzeiros está intimamente relacionado às exigências ecológicas, para proteção da colônia contra a dessecação, predação e enchentes (JOUQUET et al., 2007).

Quadro 1 - Hábito de nidificação, Grupo trófico e Distribuição geográfica (de acordo com Constantino, 1999) de espécies encontradas na Formação Surumu, Roraima.

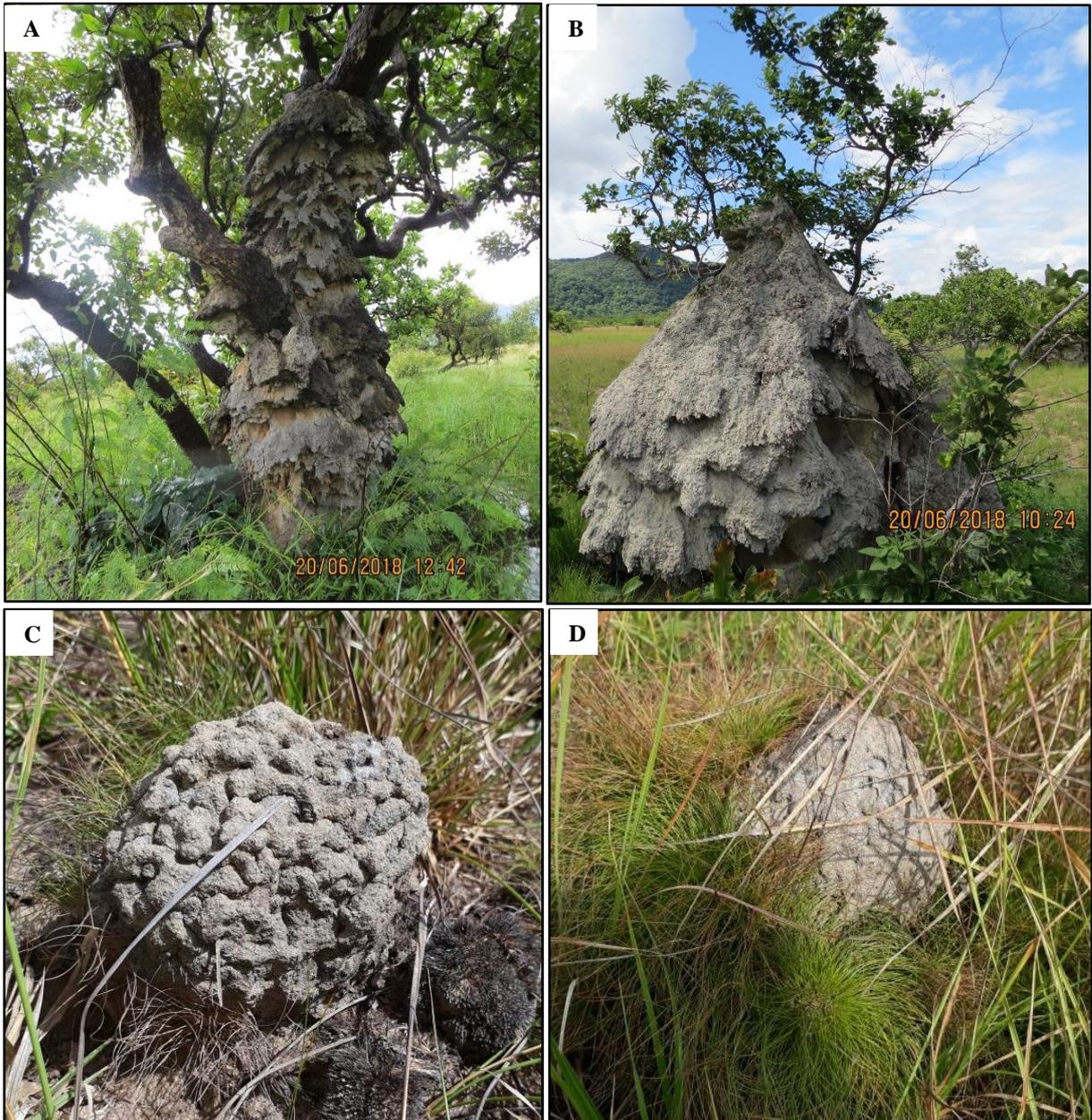
<b>Espécie</b>	<b>Nidificação</b>	<b>Grupo Trófico</b>	<b>Distribuição espacial</b>
<i>Amitermes excellens</i>	Epígea	Interediário	Amazônia
<i>Anoplotermes</i> sp.1	Ninho difuso	Humívoro	Neotropical, em todas as regiões do país
<i>Anoplotermes</i> sp.2			
<i>Anoplotermes</i> sp.3			
<i>Anoplotermes</i> sp.4			
<i>Anoplotermes</i> sp.5			
<i>Cortaritermes intermedius</i>	Epígea	Xilófagos	Regiões de Cerrado no Brasil
<i>Grigiotermes</i> sp.1	Inquilina*	Humívoro	Cerrado do Brasil Central e Sudeste
<i>Heterotermes</i> sp.1	Ninho difuso	Xilófagos	Pantropical
<i>Nasutitermes</i> sp.1	Epígea	Xilófagos	Pantropical
<i>Nasutitermes</i> sp.2	Hipógea		
<i>Nasutitermes</i> sp.3			
<i>Rupititermes fransiscoi</i>	Hipógea	Ceifadores	Neotropical, em todas as regiões do país
<i>Termes</i> sp.1	Hipógea	Intermediários	Pantropical
<i>Termes</i> sp.2			
<i>Velocitermes</i> sp.1	Hipógea	Ceifadores	Cerrado do Brasil Central e Sudeste e em savanas amazônicas

\* Espécies que não constroem ninhos e abrigam-se em ninhos de outras espécies.

Fonte: AUTOR (2018).

A arquitetura da forma cônica dos ninhos é uma estratégia utilizada para proteção contra a erosão natural ocasionada pelos ventos e chuva (FUNCH, 2014). Essa espécie apresenta hábito nidificante arborícola em ambientes florestais, construindo seus ninhos geralmente em caules de árvores (Figura 7A). Essa dinâmica está relacionada à alimentação, pois essa espécie alimenta-se de madeira em florestas (CONSTANTINO, 1999). Em savanas, os fatores ambientais mudam, estimulando a plasticidade fenotípica, resultando em mudança abrupta nos hábitos nidificantes, pois passam a construir preferencialmente ninhos epígeos (Figura 7B). Essa é uma das particularidades dessa espécie, pois a maioria dos cupins dentro de uma mesma espécie costumam construir ninhos similares (OLIVEIRA et al. 2018).

Figura 7 - A) Ninho arborícola de *Amitermes excellens* no caule de Caimbé em Planossolo Nátrico; B) Ninho epígeo de *Amitermes excellens* em Plintossolo háplico com vários vegetais associados; C) Ninho epígeo de *Cortaritermes intermedius* e D) Ninho epígeo de *Nasutitermes* sp.1.



Fonte: AUTOR (2018).

Os cupinzeiros de *A. excellens* associam-se à vegetação típica da savana estépica, a maioria dos cupinzeiros encontra-se associada a três ou mais espécies diferentes. As principais espécies vegetais associadas são: *Curatella americana* (Caimbé), *Byrsonima crassifolia*, *Byrsonima cocolobifolia* (Mirixi), *Bowdichia vigilioides* (sucupira-do-campo) e *Cereus jamacaru* que pertence à família Cactaceae, característica em ambientes de savana estépica, além de outras espécies de vegetais da família Euphorbiaceae e Myrtaceae. Nos ninhos mais

antigos é possível observar associação dos cupinzeiros com musgos e líquens. Essas observações de campo, corroboram com Bonachela et al. (2015), que afirmam que os engenheiros da macrofauna do solo, que inclui os cupins, são importantes na manutenção da heterogeneidade de paisagens, criando condições propícias para o crescimento de espécies arbóreas (DAVIES et al., 2014; GOSLING et al., 2012).

Grandes cupinzeiros costumam abrigar várias espécies inquilinas, ocupando galerias separadas em várias partes do ninho (CONSTANTINO et al., 1999; FUNCH, 2014). Essa dinâmica não foi observada nesse trabalho nos ninhos de *A. excellens*, pois foi encontrada apenas uma espécie inquilina, porém, não significa que não existam, visto que a coleta foi feita em poucos cupinzeiros, e não foram exploradas as galerias internas, por dificuldades em quebrar as paredes dos ninhos. Além disso, muitos inquilinos só habitam ninhos abandonados, outros habitam partes do subsolo e outros a vegetação que está associada no interior ao ninho (JUNQUEIRA; GONÇALVES; TEIXEIRA, 2015). Vários outros animais foram encontrados coabitando os cupinzeiros, mais comumente formigas de diferentes espécies, inclusive mimetizando a espécie *A. excellens*, também foram encontrados dois escorpiões e uma cobra cascavel (*Crotalus durissus ruruima*). Esses achados corroboram com Alves et al. (2011) que constataram que grandes cupinzeiros são habitat e local de predação para outros animais vertebrados e invertebrados.

Os hábitos alimentares da assembleia de cupins da Formação Surumu, compreendem os quatro grupos tróficos, os humívoros são mais diversos, constituídos de 6 espécies, representam 37,5% do total, seguidos dos xilófagos, constituídos de 5 espécies (31,25%), os intermediários são constituídos por 3 espécies (18,75%) e os ceifadores representado por apenas 2 espécies, representando apenas 12,5% (Quadro 1).

Os resultados dessa pesquisa, indicam que os hábitos nidificantes dos cupins estão intimamente relacionados com os grupos tróficos que ocupam, os xilófagos e intermediários constroem ninhos epígeos próximo a vegetação da qual se alimentam, os humívoros, ceifadores e intermediários constroem ninhos hipógeos ou difusos solo, onde é disponível húmus e folhas em decomposição (BOURGUIGNON et al., 2015).

A dominância dos humívoros na Formação Surumu corrobora com resultados para outros ambientes de vegetação aberta no cerrado brasileiro (CARRIJO et al., 2009; CUNHA; COSTA; BRANDÃO, 2006; OLIVEIRA; CARRIJÓ; BRANDÃO, 2013) e em áreas de florestas primárias e sistemas agroflorestais na Amazônia (ACKERMAN et al., 2009). Os cupins que se alimentam de solo, são distribuídos no solo de acordo com gradientes de humificação (RESENDE, 2012). A maioria dos cupins da subfamília Apicoteritinae, forrageiam

independentemente de sua composição estrutural e química do solo, porém algumas espécies selecionam substratos de alimentação específicos ricos em matéria orgânica, como por exemplo, ninhos abandonados (BOURGUIGNON et al., 2015).

Apesar da baixa densidade de vegetação, os xilófagos são bem representados na área de estudo, sendo o segundo grupo mais frequente, resultados semelhantes foram encontrados no bioma caatinga, onde foi constatada a dominância de riqueza e abundância dos cupins que se alimentam de madeira (VIANA JÚNIOR et al., 2014). Outros trabalhos descrevem os xilófagos mais diversos em áreas de vegetação densa (OLIVEIRA; CARRIJÓ; BRANDÃO, 2013), em sistemas florestais amazônicos (AZEVEDO; MORAIS; DABROS, 2013), em floresta de Mata Atlântica (SOUZA; ALVES; VASCONCELLOS, 2012). Por se alimentarem de madeira, os xilófagos são o grupo mais afetado por perturbações no cerrado e caatinga (CARRIJO et al., 2009; VASCONCELLOS et al., 2010; VIANA JÚNIOR et al., 2014). A baixa presença de cupins ceifadores na área de estudo, pode ser explicada pela baixa disponibilidade de alimento (serrapilheira), geralmente esse grupo é mais rico e abundante e florestas (AZEVEDO; MORAIS; DABROS, 2013; SOUZA; ALVES; VASCONCELLOS, 2012).

A maioria das espécies de cupins que ocorrem na Formação Surumu apresentam distribuição geográfica pantropical e neotropical (Quadro 1), ocorrendo em todo o país, porém, a espécie construtora de cupinzeiros *A. excellens* é endêmica da região amazônica, sendo portanto, a alta densidade de cupinzeiros epígeos dessa espécie encontrada somente em savanas amazônicas (CONSTANTINO, 1999). As espécies *C. intermedius*, *Grigiotermes* sp.1 e *Velocitermes* sp.1 são exclusivas de ambientes abertos. De acordo com a literatura consultada, *C. intermedius* e *Grigiotermes* sp.1 são distribuídas somente no cerrado brasileiro (CONSTANTINO, 1999), ambas não apresentavam registro de ocorrência na Amazônia até o presente estudo.

Apesar de estudos da fauna de cupins avançar na região neotropical, o conhecimento sobre a diversidade de cupins é incompleto (CARRIJO; CUEZZO; SANTOS, 2015; CHOUVENC et al, 2016). Portanto, os resultados dessa pesquisa evidenciam a importância da exploração da termitofauna da região do Surumu, pois aborda aspectos ainda não detalhados, representando novas descobertas que impulsionam questionamentos de pesquisas futuras que são necessárias para melhor compreensão dos processos biológicos e evolutivos das relações da fauna local de cupins.

#### 4.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DO MATERIAL DE CUPINZEIROS E SOLO CONTROLE

A Análise de Componentes Principais (PCA) apresentou uma proporção de variação de 0.5993 no Primeiro Componente Principal (PC1) e de 0.1068 no Segundo Componente Principal (PC2), sendo portanto sumarizada 0.7061 ou 70 % da diferença entre as 22 variáveis físico-químicas nos dois primeiros componentes da PCA.

Os scores do PC1 apresentam mais valores positivos que negativos, os maiores valores foram observados nas variáveis químicas P, K, N, Na, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, H+Al, SB, t, T, V, ISNa, MO e PREM, os valores dos scores dessas variáveis são muito parecidos, evidenciando uma forte correlação positiva. Os scores do PC1 que apresentam valores negativos para as variáveis pH, Al<sup>3+</sup>, m, Areia Grossa, Areia Fina e Densidade de solo significam que esses teores apresentam associações negativas, portanto têm teores maiores no solo controle em comparação com os cupinzeiros. O PC2 capta a variação das características físicas relacionadas aos teores de Areia Grossa, Areia Fina, Silte e Argila (Tabela 2).

Tabela 2 - Valores dos scores das variáveis físico-químicas do material do cupinzeiro e solo controle no Primeiro Componente Principal (PC1) e Segundo Componente Principal (PC2).

Variáveis	Valores dos Scores		Variáveis	Valores dos Scores	
	PC1	PC2		PC1	PC2
pH	-0.08366571	0.07236063	T	0.26646913	-0.08026420
P	0.23414359	-0.01999062	V	0.23037824	0.29726071
K	0.26025751	0.04036531	M	-0.23734417	-0.21513837
N	0.24163206	-0.10197946	ISNa	0.21876624	0.10444109
Na	0.20577679	0.10589565	MO	0.24419871	-0.15818571
Ca <sup>2+</sup>	0.24882411	0.11463004	PREM	0.24419871	0.06743143
Mg <sup>2+</sup>	0.24684616	0.12059319	Areia Grossa	-0.04170014	0.06658522
Al <sup>3+</sup>	-0.1583479	-0.37872683	Areia Fina	-0.12225967	0.42035965
H+Al	0.23026678	-0.22302914	Silte	0.16996493	-0.35713302
SB	0.25988257	0.10586790	Argila	0.06513837	-0.42370177
T	0.24781022	0.03497137	Densidade	-0.23193359	0.26088314

Fonte: AUTOR (2018).

Constatou-se no pós-teste de Tukey que não há diferenças significativas das variáveis físico-químicas nas três seções do cupinzeiro nos eixos 1 e 2 da PCA, porém há diferenças entre os teores das variáveis no cupinzeiro e solo controle. As diferenças nas características físicas nas três profundidades de solo controle foram captadas no PC2 indicando correlações mais sutis em comparação com o PC1 (Tabela 3).

Tabela 3 - Resultados do pós - teste de Tukey para as variáveis físico-químicas do material do cupinzeiro e solo controle nas diferentes baseadas nos valores dos scores do PC1 e PC2.

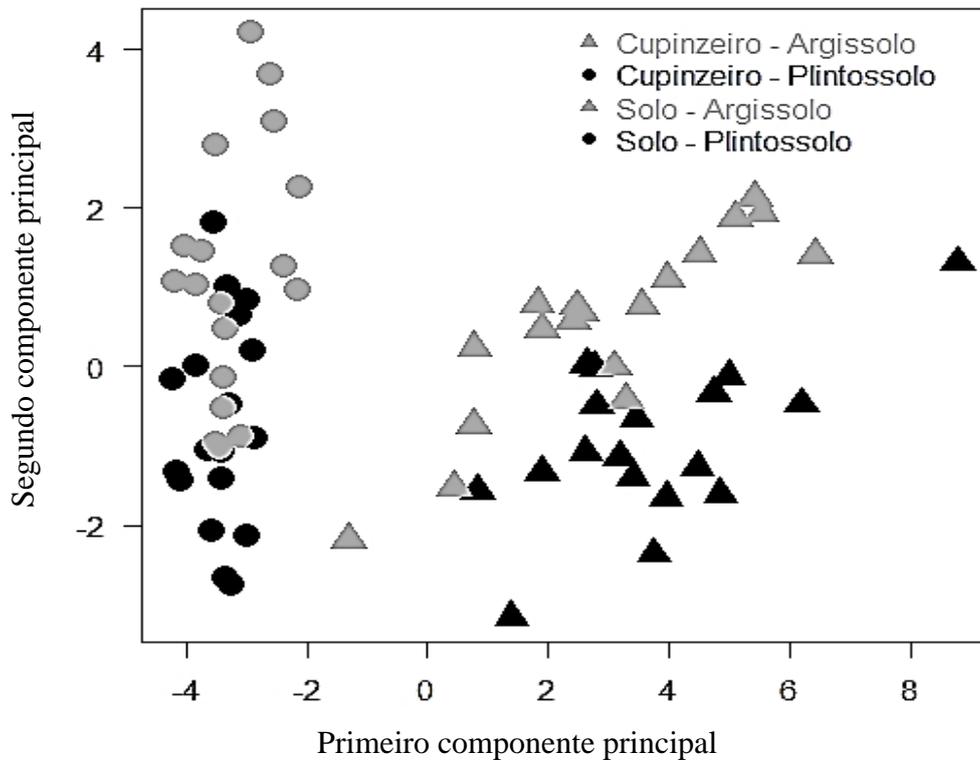
Seção	PC1		PC2	
	Estimativa	Valor do P	Estimativa	Valor do P
Topo – Meio	-0.1779	1.000	-0.05331	1.00000
Topo – Base	0.1603	1.000	0.25868	0.99156
Meio – Base	0.3383	0.993	0.31199	0.98023
Topo - (0-10cm)	-6.1088	< 0.0001****	1.88552	<0.001***
Topo - (10-20cm)	-6.8202	< 0.0001****	0.22019	0.99602
Topo - (20-30cm)	-6.9897	< 0.0001****	-0.54693	0.81039
Meio - (0-10cm)	-5.9308	< 0.0001****	1.93883	<0.001***
Meio - (10-20cm)	-6.6423	< 0.0001****	0.27350	0.98909
Meio - (20-30cm)	-6.8118	< 0.0001****	-0.49362	0.86865
Base - (0-10cm)	-6.2691	< 0.0001****	1.62684	0.00266**
Base - (10-20cm)	-6.9806	< 0.0001****	-0.03849	1.00000
Base - (20-30cm)	-7.1501	< 0.0001****	-0.80561	0.43618
(0-10cm) - (10-20cm)	-0.7115	0.836	-1.66533	0.00193**
(0-10cm) - (20-30cm)	-0.8810	0.672	-2.43245	<0.001***
(10-20cm) - (20-30cm)	-0.1695	1.000	-0.76712	0.49354

Códigos significativos: (\*\*\*\* P < 0.0001), (\*\*\* P < 0.001), (\*\* = P < 0.01), (\* = P < 0.05).

Fonte: AUTOR (2018).

A representação gráfica do segundo eixo da PCA em função do primeiro evidencia as diferenças entre material de cupinzeiro e solo controle nas duas classes de solos estudadas. É possível observar que as amostras de solo apresentam maior variação física entre as classes de solo que é refletida nos cupinzeiros que apresentam maior concentração de partículas finas nos Argissolos. Já os solos das paredes dos cupinzeiros apresentam maior concentração de nutrientes como é possível observar na figura 8.

Figura 8 - Resultados da PCA para variáveis físico-químicas do material do cupinzeiro e solo controle, Segundo Componente Principal em função do Primeiro Componente Principal.



Fonte: AUTOR (2018).

#### 4.2.1 Características químicas do material de cupinzeiros e solo controle

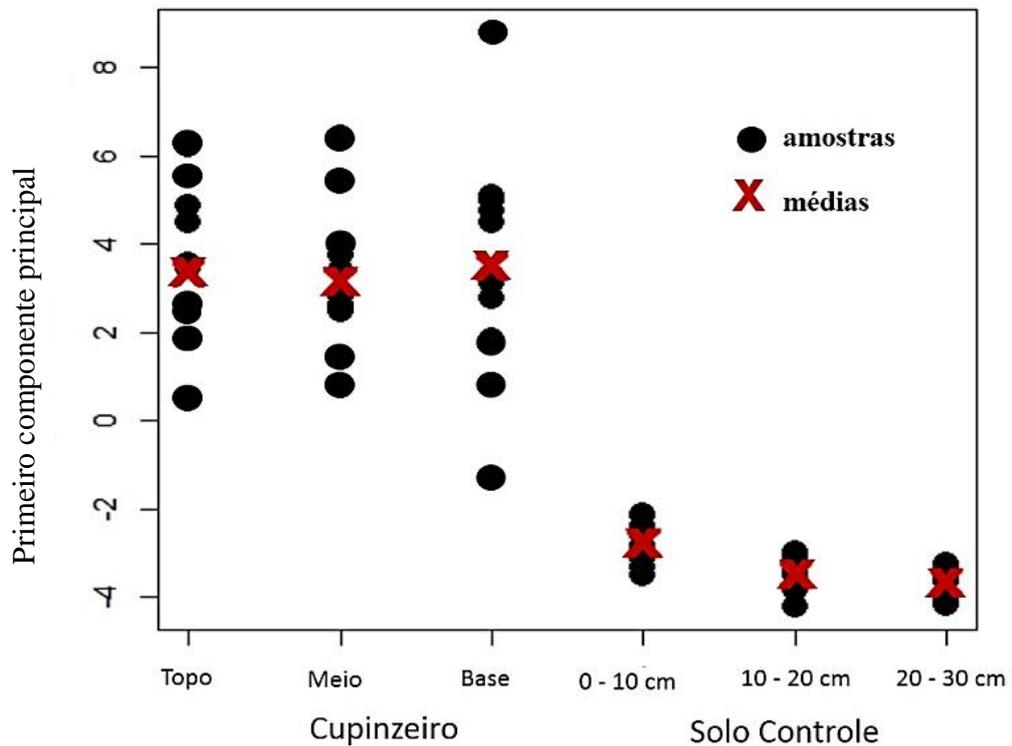
Na representação gráfica do Primeiro componente principal em função das diferentes seções do cupinzeiro, é possível observar que as maiores concentrações das variáveis químicas estão no cupinzeiro, representado pelas seções 1, 2 e 3, que são o topo, meio e base, respectivamente, sendo essa a principal captação de variação no PC1 (Figura 9).

Não há diferenças significativas entre as três seções dos cupinzeiros, ou seja, o PC1 não captou diferenças de teores das variáveis químicas entre o topo, meio e base nos ninhos. Houve diferença significativa no PC1 entre o topo do cupinzeiro e as três profundidades de solo controle, entre o meio do cupinzeiro e as três profundidades de solo controle e entre a base do cupinzeiro e as três profundidades de solo controle (Tabela 3).

As médias do material do cupinzeiro são muito parecidas indicando que as três seções apresentam composição química semelhantes. Nas três profundidades de solo controle, é observado o mesmo padrão, pois as médias são muito próximas entre si, embora o solo superficial (seção 4) apresente maiores teores de nutrientes em comparação com os solos

subsuperficiais (seções 5 e 6). Não há diferenças significativas entre Plintossolo e Argissolo nas três profundidades de solo controle, indicando que a composição química nas duas classes de solo é semelhante. Ambos são considerados distróficos, pois apresentam em média saturação por bases abaixo de 50%, essa característica é geralmente encontrada em solos amazônicos (SCHAEFER; VALE JÚNIOR, 1997; VALE JÚNIOR; SCHAEFER, 2010).

Figura 9 – Resultado dos scores do Primeiro Componente Principal para variáveis físico-químicas em função das diferentes secções dos cupinzeiros e solo controle.

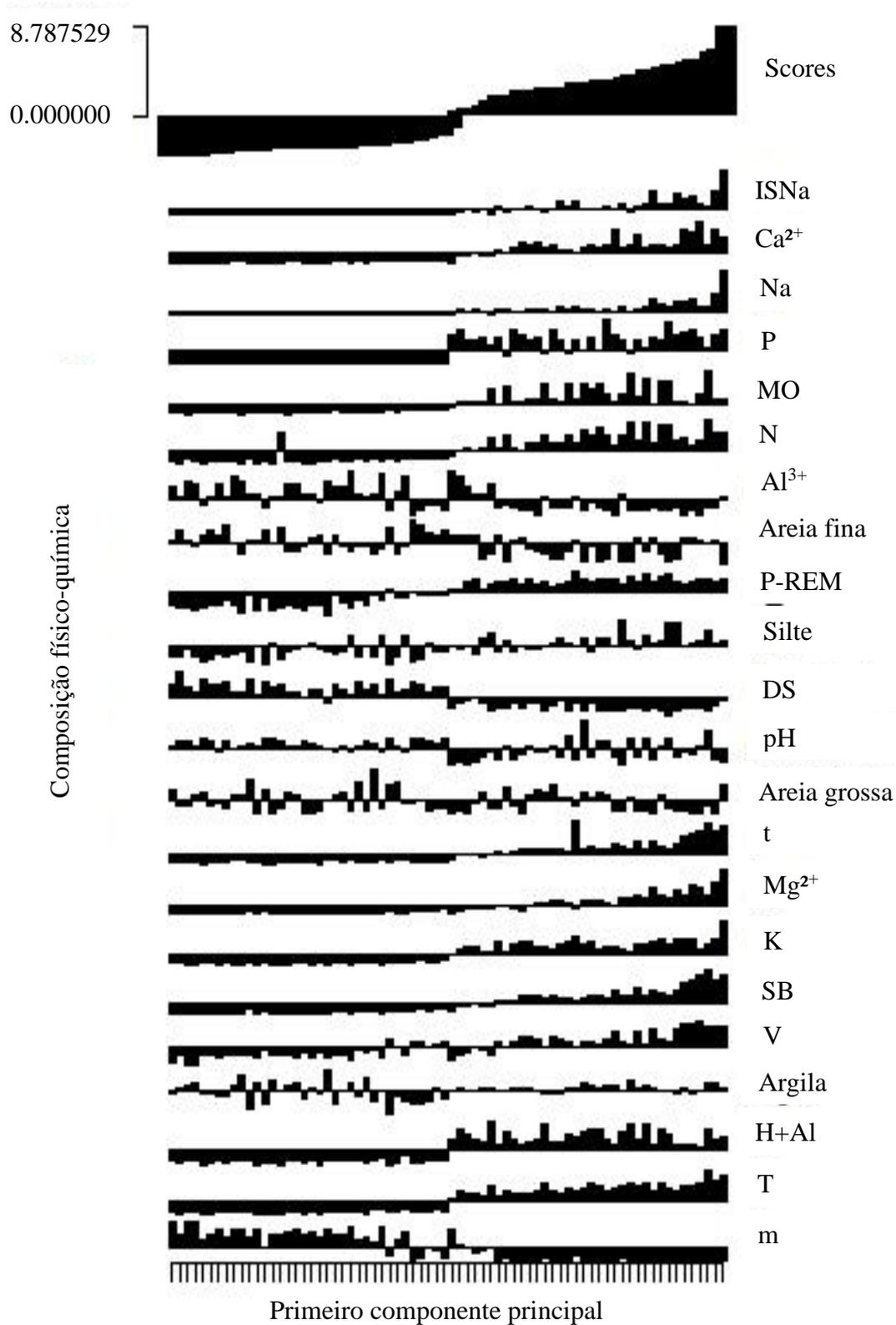


Fonte: AUTOR (2018).

Os scores do PC1 estão representados em um gráfico composto, a medida em que os valores dos scores aumentam, há maior diferença entre o material dos cupinzeiros e solo controle. Os valores dos scores no início do gráfico até a metade representam seu teor no solo controle, do meio do gráfico para direita, seu teor no cupinzeiro (Figura 10).

As correlações dos scores no gráfico composto revelam que o pH varia, porém tem índices mais altos nos cupinzeiros e as variáveis  $Al^{3+}$  e m (índice de saturação por alumínio) têm concentrações maiores no solo. É observável nos scores no gráfico composto que as variáveis correlacionadas positivamente que se destacam por apresentarem uma mudança abrupta indicando maiores teores nos cupinzeiros são:  $Ca^{2+}$ , P, MO, N, K e  $Mg^{2+}$ .

Figura 10 - Análise Composta dos scores do Primeiro Componente Principal para variáveis físico-químicas dos cupinzeiros e solo controle.



Fonte: AUTOR (2018).

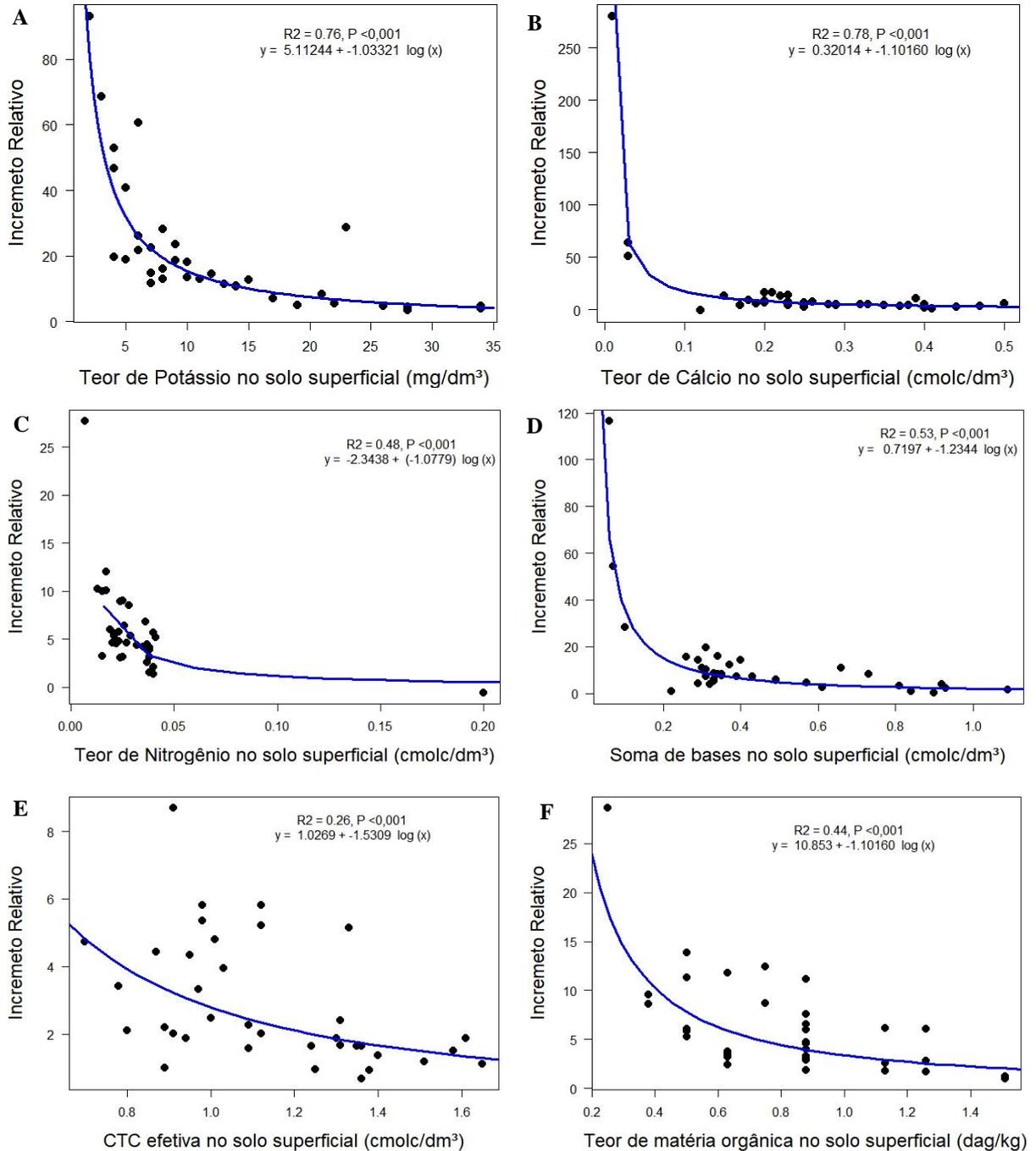
O pH mais elevado no cupinzeiro é o fator que pode estar relacionado aos altos índices de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  e os índices de  $\text{Al}^{3+}$  e m têm maior concentração em solos devido à sua complexação pela matéria orgânica do solo e insolubilidade a pH elevado (SARCINELLI et al., 2009). Segundo Seymour et al. (2014), os cupins são capazes de alterar o pH no solo, essa mudança altera a composição das comunidades de bactérias do solo, influenciando a forma dominante em que ocorre o nitrogênio.

As variáveis  $\text{Mg}^{2+}$ , P, pH e  $\text{Al}^{3+}$ , apesar de apresentarem teores maiores nos cupinzeiros, não apresentaram regressões lineares significativas entre o Incremento Relativo (IR) e teor no solo. Não foi possível calcular o IR para os teores de Na, pois não foi detectável em amostras de solo, não há um consenso entre a concentração de Na em solos de cupinzeiros em ninhos epígeos, em *Macrotermes bellicosus*, não foram encontrados teores diferentes de solos circundantes (ABE et al., 2009). Podemos inferir que os níveis de Na estão presentes nos cupinzeiros por conta do material da saliva e fezes dos cupins que são incorporadas ao solo nos processos de nidificação (ARVETI et al., 2012).

A regressão linear entre o IR do teor nos cupinzeiros em relação ao teor no solo controle, foi significativo para o Potássio ( $R^2= 76\%$ ,  $P<0,001$ ), Cálcio ( $R^2= 78\%$ ,  $P<0,001$ ) e Nitrogênio total ( $R^2= 48\%$ ,  $P<0,001$ ). Esses resultados indicam que quanto maior é o IR, menor é sua concentração no solo controle caracterizando uma forte correlação negativa. O enriquecimento dos cupinzeiros por cátions ( $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ), reflete nos índices de Soma de Bases ( $R^2= 53\%$ ,  $P<0,001$ ). A regressão linear para o IR da Capacidade de Troca Catiônica efetiva ( $R^2= 26\%$ ,  $P<0,001$ ), apresenta baixo valor no  $R^2$ , apesar de ser significativa a correlação. A regressão linear do IR de Matéria Orgânica ( $R^2= 44\%$ ,  $P<0,001$ ) apresenta correlações negativas, porém com baixo valor no  $R^2$  (Figura 11A-F).

Faria (2012) averiguou que em solos que exibem caráter distrófico mais pronunciado, os cupinzeiros epígeos concentram mais nutrientes (P, K,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ) e MO. Essa diferença não foi detectável nesse estudo, pois não trabalhamos com diferentes fitofisionomias, e pelo fato das classes de solos estudadas apresentarem características nutricionais similares, em geral são solos que apresentam baixos valores para soma de bases (SB); saturação por bases (V); baixa capacidade de troca catiônica (t) e matéria orgânica (MO), caracterizando sérios problemas de fertilidade ocasionados pela distrofia (SCHAEFER; VALE JÚNIOR, 1997; VALE JÚNIOR; SCHAEFER, 2010).

Figura 11 - Regressão linear da Relação entre a percentagem de Incremento Relativo nas variáveis químicas nos cupinzeiros e solo controle: A) Teor de Potássio; B) Teor de Cálcio; C) Teor de Nitrogênio; D) Soma de bases; E) Capacidade de troca catiônica efetiva e F) Teor de matéria orgânica.



Fonte: AUTOR (2018).

Outros autores reportam a concentração de nutrientes em grandes estruturas biogênicas similares em tamanho e forma aos ninhos epígeos de *A. excellens*. A espécie *Macrotermes falciger* é responsável por reter altas concentrações de macro e micronutrientes no ninho, diferindo significativamente da matriz circundante caracterizada por solos relativamente pobres

em ambiente de florestas de miombo no Zimbabué (SEYMOUR et al., 2014). Os mesmos resultados foram encontrados em estudo posterior para a mesma espécie em uma floresta secundária de miombo no Congo (ERENS, 2015).

Em ambientes de savana, Gosling et al. (2012) constataram através de experimentos, que todas as amostras de solos de cupinzeiros pertencentes aos gêneros *Macrotermes*, *Odontotermes* e *Trinervitermes*, apresentaram níveis elevados de N total, C, P, K e  $Ca^{2+}$  quando comparados aos solos controle. A mesma concentração desses nutrientes, com exceção de P e acréscimo de  $Mg^2$ , foram constatadas por Abe, Yamamoto e Wakatsuki (2009) em ninhos epígeos da espécie *M. bellicosus*, em savana na Nigéria. Diante desses resultados, podemos inferir fortes indícios de similaridade, quando se trata da capacidade de concentração de nutrientes em relação a matriz circundante, entre cupinzeiros de *A. excellens* e outros gêneros em continente africano, tanto em ambientes florestais, como em savanas. A maior capacidade de troca catiônica efetiva nos cupinzeiros nessa pesquisa, pode ser explicada pelos incrementos de argila no ninho, que influenciam na capacidade de retenção de nutrientes permitindo maior incidência de troca de cátions pela alta disponibilidade, já que não são perdidos pela lixiviação (ABE; YAMAMOTO; WAKATSUKI, 2009).

As altas concentrações de MO nos ninhos de *A. excellens* dessa pesquisa, assemelham-se à resultados de outros estudos: Em savana, cupinzeiros epígeos no gênero *Trinervitermes* concentram MO (GOSLING et al., 2012) e *M. bellicosus* apresentam maiores níveis de N total em comparação com o solo (ABE; YAMAMOTO; WAKATSUKI, 2009); Em Zona de Mata em MG, ninhos de *Cornitermes* sp. retêm maiores concentrações de C e N orgânico em comparação com o substrato, que pertence à Latossolos de uma topossequência (SARCINELLI, 2009), a mesma dinâmica é observada em ninhos de *C. silvestrii* no cerrado – TO (RUCKAMP et al., 2012). A capacidade de estocagem de carbono pelos cupins, destaca a importância do seu papel da contribuição no ciclo do carbono em regiões semi-áridas (ALVES et al., 2014; BEZERRA-GUSMÃO et al., 2011).

Resultados diferentes com relação a concentração de MO foram encontrados em ninhos de *Odontotermes obeus*, esses cupins selecionam partículas mais enriquecidas por argila do subsolo e por isso possuem baixa concentração de MO (JOUQUET et al., 2011). Essas dinâmicas também ocorrem em ninhos de *M. bellicosus*, que possuem o conteúdo de carbono orgânico similar aos solos subsuperficiais, diferindo significativamente dos horizontes superficiais (ABE; YAMAMOTO; WAKATSUKI, 2009). Os teores de P e C observados em outras espécies de cupins epígeos, como é o caso de *M. bellicosus*, são menores nos ninhos em comparação com os solos superficiais (ABE; YAMAMOTO; WAKATSUKI, 2009), o mesmo

foi observado em *Odontotermes* sp. para C e N (JOUQUET et al., 2004). Comparando os resultados de *A. excellens* à *M. bellicosus* e *Odontotermes* sp., observamos que provavelmente o fato de não concentrarem P, C e N está intimamente relacionado aos hábitos alimentares, pois cultivam fungos em galerias específicas localizadas no subsolo, e os resultados dessas análises são da parede externa, já *A. excellens* é intermediário e/ou xilófaga, aderindo partes de vegetais ao ninho durante a construção. Essa hipótese se consolida, pois resultados semelhantes ocorrem quando comparamos *A. excellens* a outra espécie xilófaga, é o caso de *Cornitermes* sp., seus ninhos são caracterizados oligotróficos, por apresentarem grandes concentrações de P associado ao conteúdo de MO (SARCINELLI, 2009).

O fato de cupinzeiros de *A. excellens* apresentarem maiores teores de MO, não significa que não realizem a dinâmica de seleção por partículas finas do subsolo, pois, a MO dos cupinzeiros reflete diretamente os materiais que os cupins usam para construir e reparar seus ninhos, como diversas partes de vegetais, saliva e suas fezes (ARVETI et al., 2012; DAVIES et al., 2014; JOUQUET et al., 2007). A decomposição de animais como aves, predadores e outros insetos que morrem no interior do ninho, também elevam a quantidade de MO (ALVES et al., 2011). Os hábitos alimentares também influenciam na concentração de nutrientes, pois *A. excellens* pertencem ao grupo funcional dos cupins intermediários e/ou xilófagos (SOUZA; ALVES; VASCONCELLOS, 2012), portanto, alimentam-se da interface solo/madeira e/ou partes de vegetais, durante os processos de digestão, trituram seu alimento em partículas menores, tornando-as disponíveis para serem decompostas pelos micro-organismos do solo para formação de substâncias húmicas (KRISHNA et al., 2013).

A matéria orgânica fresca da saliva dos cupins, aumenta substancialmente a concentração de MO no cupinzeiro, como comprovada através de experimentos (JOUQUET et al., 2002; JOUQUET et al., 2007). Os níveis adição de MO variam de acordo com o tipo de galeria a ser construída, dessa forma, podemos inferir que as partes internas do cupinzeiro apresentam altos índices de MO se comparadas à parede externa, nesse estudo não analisamos a parede interna dos cupinzeiro de *A. excellens*, porém, podemos especular que as paredes internas tendem a concentrar mais MO, uma evidência é o fato de cupinzeiros de *Cornitermes cumulans* apresentarem maior incorporação de carbono e maior biomassa microbiana no centro dos cupinzeiros, promovendo maior estabilização do material orgânico (PINHEIRO et al., 2013), portanto, os processos de decomposição e reciclagem permanecem retidos no interior do ninho, não sendo disponibilizado ao sistema do solo como ocorre com as paredes externas através de processos erosivos (MUJINYA et al., 2013).

A MO e nutrientes são acumulados ao longo do tempo (MUJINYA et al., 2013), portanto podemos constatar que os ninhos nos Argissolos, que estruturas maiores e portanto são mais antigos, tenham mais nutrientes e MO retidos em comparação com os ninhos nos Plintossolos (SEYMOUR et al., 2014). Essa observação coincide com as estruturas biogênicas dos grandes cupinzeiros africanos da subfamília Macrotermitinae (JOUQUET et al., 2016).

Além dos processos biogênicos que acrescentam MO no cupinzeiro (DAVIES et al., 2014), podemos destacar a associação dos cupinzeiros de *A. excellens* com várias espécies arbóreas, herbáceas, briófitas e líquens (DAVIES et al., 2014; GOSLING et al., 2012; JOSEPH et al., 2014), permitindo que ocorra deposição de materiais vegetais mortos, como folhas e galhos caídos, sendo esse um forte indício que explica a altas concentrações de MO nos ninhos.

Em síntese, resultados de *A. excellens* corroboram com observações feitas em outras espécies de cupins epígeos em diversos ambientes, mais principalmente em ambientes de savana, pois nesses ambientes mais secos são mais comuns ninhos epígeos mais íngremes e robustos (*Trinervitermes* sp., *M. bellicosus* e *O. obeus*), embora cupinzeiros menores também concentrem nutrientes e MO (*Cornitermes* sp. e *C. Silvestrii*). Constatando que nessa pesquisa os cupinzeiros da Formação Surumu concentram nutrientes e MO em solos pobres quimicamente pertencentes à Plintossolos e Argissolos.

#### 4.2.2 Textura do material de cupinzeiros e solo controle

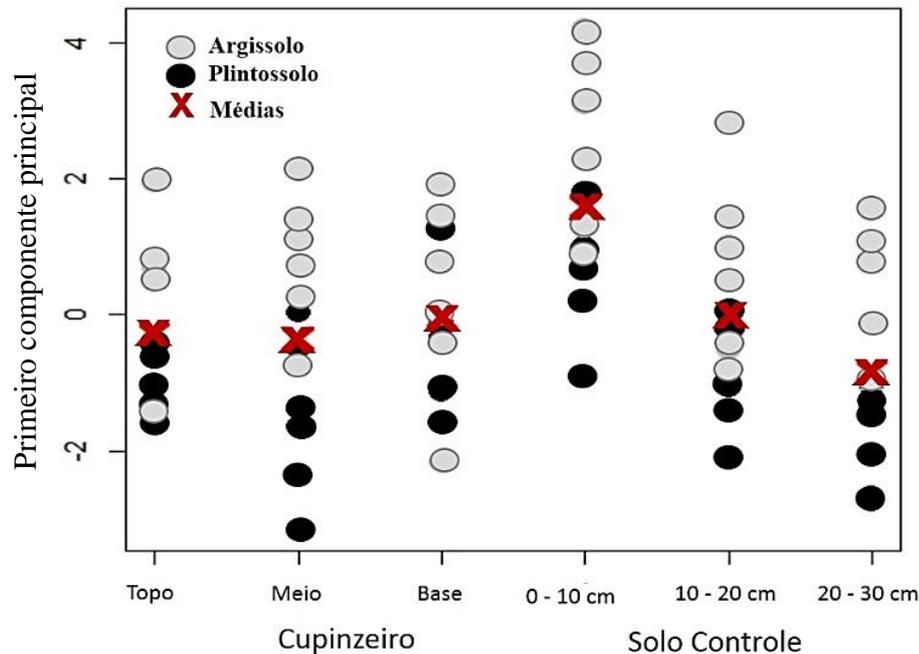
Os resultados do Segundo Componente Principal captam as diferenças físicas texturais entre o material do cupinzeiro e o solo controle. Há diferenciação significativa entre o topo do cupinzeiro e a profundidade de solo superficial até 10 cm, assim como entre o meio e a base do cupinzeiro que diferiram em composição física se comparadas à profundidade superficial. Esses resultados evidenciam que a composição de partículas no cupinzeiro não difere entre as seções (Tabela 3).

Entre as diferentes profundidades de solo, houve diferença significativa entre as seções de 0 – 10 cm à 10 – 20 cm e entre 0 – 10 cm à 20 – 30 cm (Tabela 4), esses resultados sugerem que há diferença entre a superfície até 10 cm de profundidade e as demais profundidade do solo, configurando gradiente textural (Figura 12).

Nesse estudo, os solos controle e material de cupinzeiros recebem classificação quanto de Franco-argilosa e Franco-argilo-arenosa com base na textura, sendo portanto solos que têm disponibilidades de argila, sendo esses um dos possíveis motivos para as concentrações de

partículas finas não seja tão acentuado, apesar de ser constatado nos resultados que amostras do material dos cupinzeiros são similares às profundidades abaixo de 10 cm. Esse resultado evidencia que os cupins de *A. excellens* promovem o transporte vertical de partículas finas de solo, para a construção e manutenção seus ninhos.

Figura 12 - Representação gráfica dos scores do Segundo Componente Principal em função das diferentes secções dos cupinzeiros e solo controle.



Fonte: AUTOR (2018).

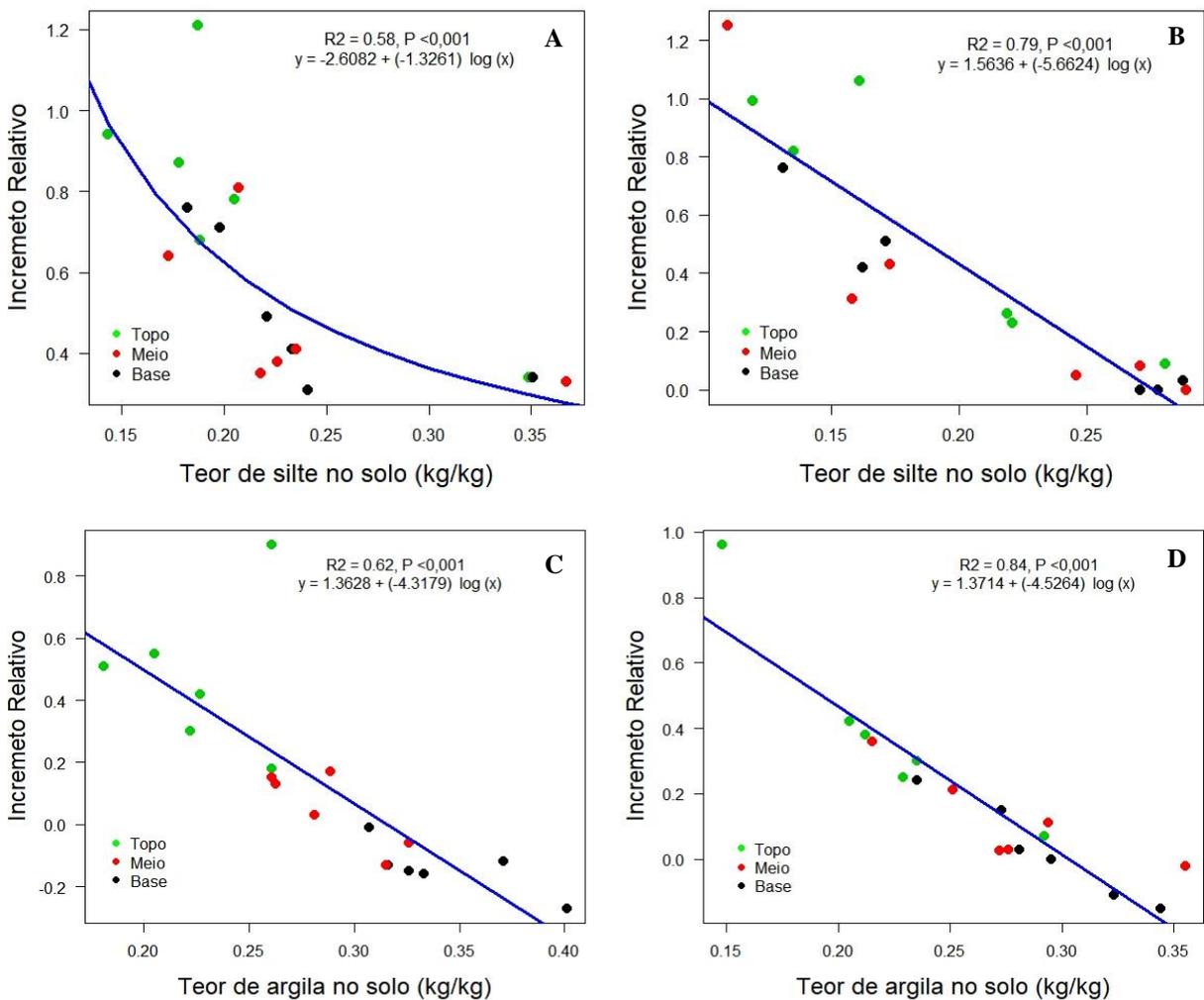
A dinâmica de seleção de partículas por cupins, foi observada em outros ambientes de savana tropical em outras espécies de cupins epígeos: *M. bellicosus* em Argissolos no sul de Guiné (ABE et al., 2011); *Macrotermes* sp., *Odontotermes* sp. e *Trivetermes* sp. no sul da África do Sul (GOSLING, 2012); *M. falciger* em Latossolos no Congo (MUJINIA et al., 2013) e *Cornitermes* sp. com teores de até 2 vezes maior da camada superficial no cerrado de Tocantins (RUCKAMP et al., 2012). Diante da similaridade nos resultados em diferentes espécies de cupins, incluindo *A. excellens* na Formação Surumu, podemos sugerir que as condições climáticas nos ambientes influenciam nas semelhanças das características estruturais físicas do solo, pois apresentam períodos de seca, devido às baixas precipitações pluviométricas, refletindo na composição granulométrica dos cupinzeiros.

Em diferentes fitofisionomias de Floresta de Tabuleiro - BA, *Cornitermes* sp. também apresentam maiores teores de argila e silte (SARCINELLI, 2010), o solo do cupinzeiro se assemelha a camadas mais profundas de solo, essa teoria se fortalece pelo fato de ninhos

menores e mais frágeis de *Trivetermes* sp. que habitam ambientes de savana africana, o material de cupinzeiros também se assemelha à solos profundos (GOSLING, 2012).

Os Argissolos apresentam naturalmente maiores concentrações de partículas finas de solo em comparação com os Plintossolos, esse teor é refletido na concentração no cupinzeiro. O Cálculo do Incremento Relativo (IR) apontam que o Teor de Silte no cupinzeiro em função ao solo controle no Plintossolo ( $R^2 = 58\%$ ,  $P < 0,001$ ) e Argissolo ( $R^2 = 79\%$ ,  $P < 0,001$ ) apresentam correlação negativa independente das seções e profundidade. O IR do teor de argila em Plintossolo ( $R^2 = 62\%$ ,  $P < 0,001$ ) e Argissolo ( $R^2 = 84\%$ ,  $P < 0,001$ ), apresentam forte correlação negativa que está relacionada à profundidade do solo, é observável que a profundidade de 20-30cm apresenta maiores teores (Figura 12.A - D).

Figura 13 - Regressão linear da Relação entre a percentagem de Incremento Relativo nas variáveis físicas nos cupinzeiros e solo controle: A) Teor de silte no Plintossolo; B) Teor de silte no Argissolo; C) Teor de argila no Plintossolo; D) Teor de argila no Argissolo.



Fonte: AUTOR (2018).

Jouquet et al. (2011) destacam que um dos principais efeitos dos cupins nos ecossistemas é o transporte vertical e horizontal através da bioturbação que permite que grandes quantidades de solo sejam deslocadas de várias profundidades do perfil para a superfície do solo durante construções de paredes e galerias dos ninhos. A preferência dos cupins por argila pode ser explicada por princípios econômicos, constatados através de experimentos, que confirmaram a capacidade dos cupins de modular a incorporação de material suplementar (saliva), de acordo com o tipo de solo usado (JOUQUET et al., 2002). A coleta seletiva de argila por cupins, foi demonstrada em um experimento que confirmou que os cupins buscam partículas a profundidades abaixo de 10 cm, esse comportamento naturalmente ocorre em maiores profundidades (JOUQUET et al., 2007).

O transporte biológico vertical no perfil do solo e no cupinzeiro foi observado na espécie *M. natalensis* em um ecossistema de savana em Gana, sugerindo que escavam pelo menos algum sedimento abaixo de 100 cm com mais de 18% de argila, além de apresentarem teores de cascalho na camada superficial (KRISTENSEN et al., 2015). Ao manipular os solos subsuperficiais, os cupins desprezam partículas de areia, tornando os cupinzeiros de *M. bellicosus* enriquecidos em argila (ABE; YAMAMOTO; WAKATSUKI, 2009).

A alta disponibilidade de argila e silte explicam o tamanho dos cupinzeiros, uma observação em ninhos do gênero *Macrotermes* em ambiente de Savana tropical, exigem altas quantidades de argila para a construção dos seus ninhos, e em ambientes que possuem baixa quantidade de argila, o tamanho dos ninhos é menor em comparação com solos mais argilosos (JOUQUET et al., 2004). Nessa pesquisa os cupinzeiros de *A. excellens* apresentam estruturas biogênicas mais íngues em Argissolo em comparação com os existentes em ambiente com Plintossolos, que disponibilizam mais argila para os cupins, corroborando com os resultados do gênero *Macrotermes*.

Nessa pesquisa, os cupinzeiros maiores apresentam superfície lisa. Segundo Erens et al. (2015), a criação dessa superfície é explicada pelos elevados teores de argila e silte, tornando a parede dos ninhos resistente a infiltração de água quando atingem um certo tamanho. Ao longo do tempo, a água das chuvas que percolam através dos ninhos na estação chuvosa, torna-se insuficiente para lixiviar compostos móveis para o solo, levando ao desenvolvimento de uma zona de acumulação de nutrientes e MO (ERENS et al., 2015). Diante dessa observação, podemos inferir que a composição granulométrica dos cupinzeiros de *A. excellens*, que apresenta incrementos de argila, podem aumentar capacidade de retenção de nutrientes de solos montanhosos e permitir-lhes ter maior capacidade de troca catiônica (ABE; YAMAMOTO; WAKATSUKI, 2009).

Os cupins podem modificar as propriedades do solo de acordo com suas necessidades ecológicas, essa sua capacidade, influencia constantemente na rotatividade de partículas, bem como sua disponibilidade no ecossistema que ocorrem pela mistura de grandes quantidades de solo de diferentes horizontes durante a construção e sustentação dos ninhos (ARVETI et al., 2012). Para Peres Filho et al. (2012) a capacidade dos cupins de redistribuir partículas do solo em escalas de dezenas de metros, influencia a composição mineral, hidrologia, drenagem e topografia do solo. Além de contribuir com estruturas microgranulares, considerados como um fator na gênese de solos (DAVIES et al., 2014; SCHAEFER, 2001).

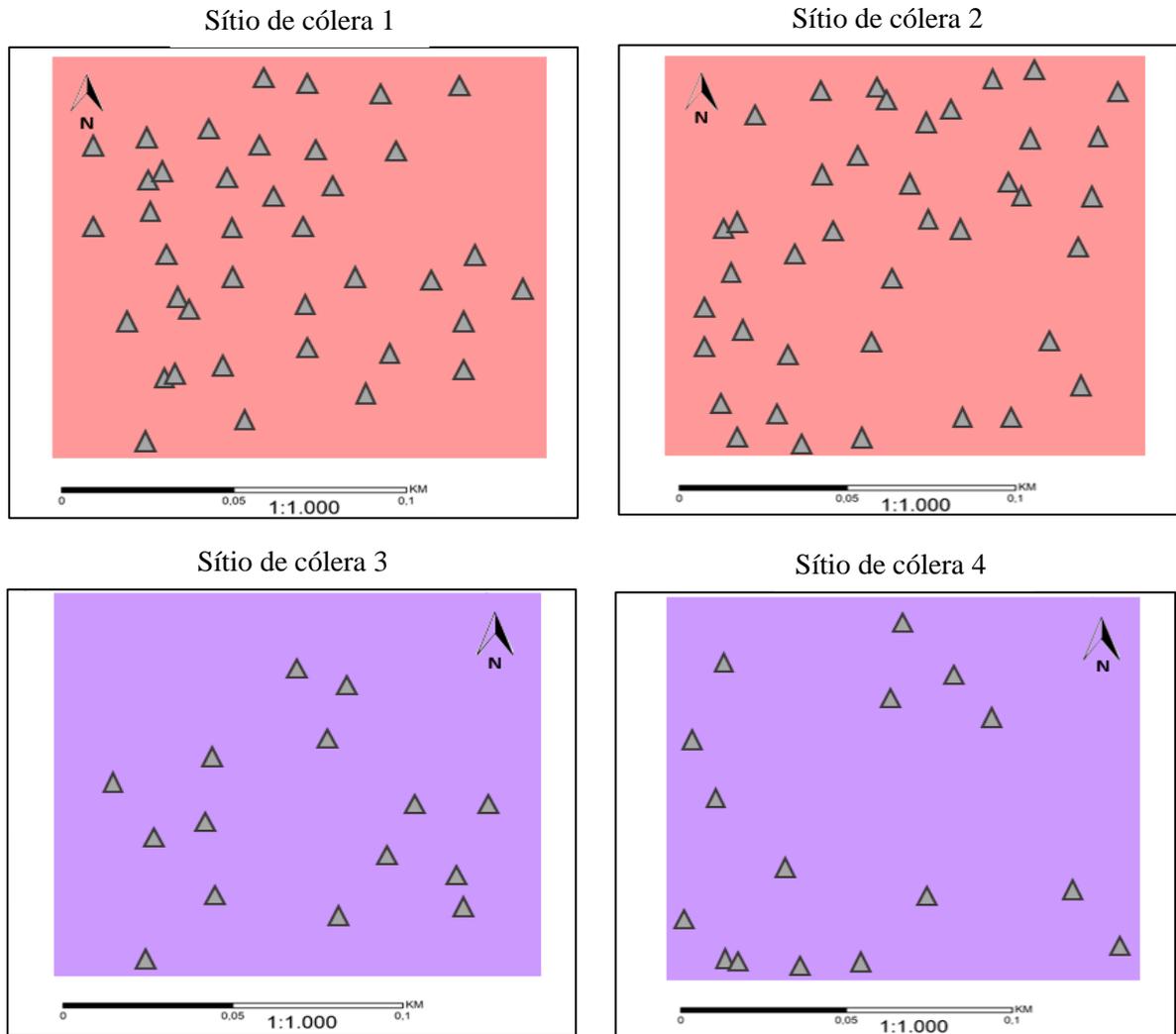
#### 4.3 DENSIDADE DE CUPINZEIROS E SEU VOLUME DE SOLO

As representações gráficas de pontos dos sítios de coleta revelam a diferença na densidade de cupinzeiros de *A. excellens* (Figura 14). No Plintossolo Háptico, a densidade média é de 40 cupinzeiros por hectare, enquanto que no Argissolo é de 13,5 cupinzeiros por hectare (Tabela 5), portanto há diferenças significativas da densidade de cupinzeiros entre as duas classes de solo estudadas ( $t = -23,702$ ;  $P < 0,001$ ).

A dinâmica da densidade de cupinzeiros de *A. excellens* pode ser resultante de uma combinação de fatores paleoclimáticos, hidopedológicos e tempo, expressos em um Blocodiagrama esquemático (Figura 15). Na zona sedimentar mais recente, desenvolvida sobre antiga planície de inundação sazonal do Rio Surumu/Parimé, associada à Planossolos Nátricos (SCHAEFER; VALE JÚNIOR, 1997; VALE JÚNIOR; SCHAEFER, 2010), os cupinzeiros são esparsos e raros, apresentam hábitos nidificante arborícola, provavelmente em função da sodicidade alta, que é um fator que limita a abundância de cupins (KASPARI et al., 2009) e do lençol freático elevado, responsável por provocar inundações ocasionadas por conta da planície pedoplanada (SCHAEFER; VALE JÚNIOR, 1997; VALE JÚNIOR; SCHAEFER, 2010).

Os hábitos arborícolas de *A. excellens* nas áreas de Planossolo (Figura 5.A) diferem das informações expressas na literatura, que caracterizam o hábito nidificante arborícola comuns em regiões florestais, sendo que, nesse estudo toda a região pertence às savanas. A preferência por construir ninhos no caule das árvores, pode ser explicada pelos fatores frequentes que impõe um estresse ambiental severo demais para os cupins, portanto, suprimindo condições ideais para nidificação epígia (BOURGUIGNON et al., 2015), que conseqüentemente impedem uma pedobioturbação mais prolongada.

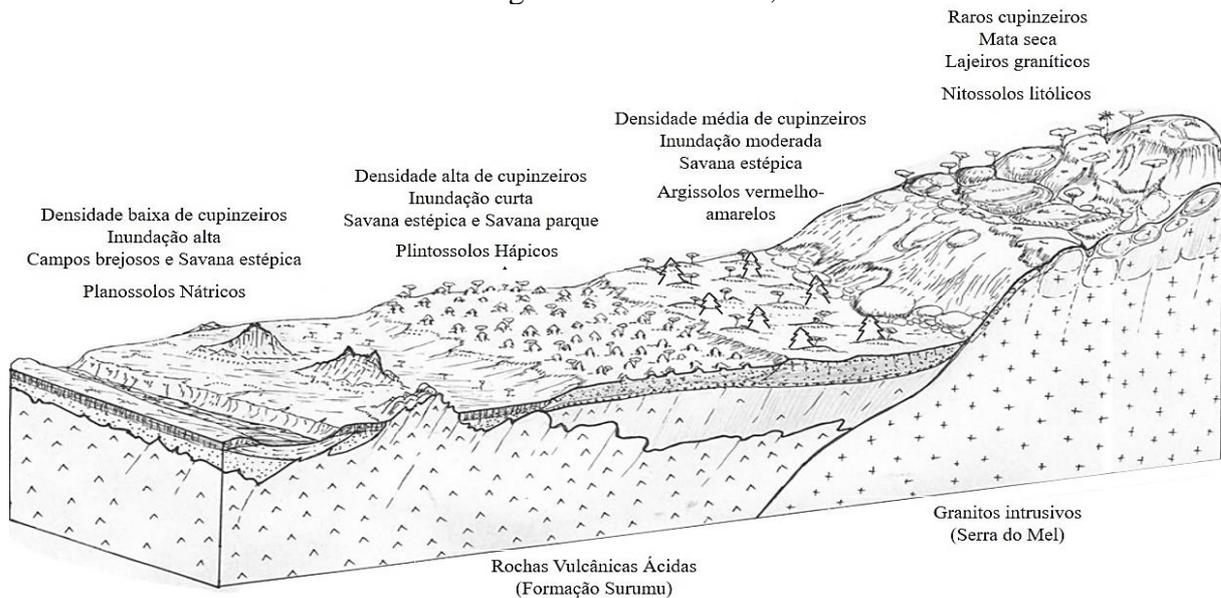
Figura 14 - Representação da distribuição de cupinzeiros em Plintossolo Háplico no Sítio de coleta 1 e 2 e em Argissolo Vermelho-amarelo no Sítio de coleta 3 e 4 na Formação Surumu, Roraima.



Fonte: AUTOR (2018).

No nível altimétrico pouco acima, cerca de 1,5 a 2,5 metros mais elevado, os Plintossolos mostram forte ocorrência de cupinzeiros epígeos, com elevada frequência e feições de máxima atividade atual de pedobioturbação, com associação a Plintossolos Háplicos sem sodicidade elevada (SCHAEFER; VALE JÚNIOR, 1997; VALE JÚNIOR; SCHAEFER, 2010). Em nível ligeiramente mais elevado, a drenagem melhor já tornou possível o desenvolvimento de Argissolos típicos (EMBRAPA, 2013; VALE JÚNIOR; SCHAEFER, 2010), nessa classe de solo, os cupinzeiros apresentam menor frequência (Figura 15).

Figura 15 - Diagrama esquemático da ocorrência de cupinzeiros de *Amitermes excellens* na região do Rio Surumu, Roraima.



Fonte: Modificado de SCHAEFER (2018).

O diagrama hipotético revela as relações pedogeomorfológicas dos cupinzeiros na região, que são controlados basicamente pelo tempo e o lençol freático, caracterizando uma hidropedossequência, em que os cupins mostram máxima atividade em níveis de hidromorfismo pouco acentuado, mas que ainda possuem o efeito da concentração de nutrientes e biomassa para promover forte e ativa pedobioturbação. À medida que a drenagem e os solos evoluem, os cupinzeiros passam a ter um papel menos destacado, mas já cumulativamente suficiente para ter ninhos mais amplos e espalhados, que refletem mais tempo de pedobioturbação. Diante dessas informações, podemos sugerir que nesse trabalho, os cupinzeiros corroboram ser indicadores da dinâmica de água no solo, apresentando baixíssimas densidades nos Planossolos, onde o lençol freático se encontra próximo à superfície (DAVIES et al., 2014). Resultados semelhantes foram observados em ninhos do gênero *Cornitermes*, que apresentam densidade maior de cupinzeiros em inclinação superior (SARCINELLI et al., 2009), e a espécie *M. bellicosus* que apresentam maior densidade em terras altas (ABE; YAMAMOTO; WAKATSUKI, 2009), portanto os solos mais profundos apresentam a maior atividade de cupins, que diminuem com o desbaste do solo (SCHAEFER, 2001).

Em síntese, os resultados apontam que a densidade elevada de cupinzeiros corresponde à uma combinação de fatores: (1) paleoclimáticos, em que uma depressão fechada foi paulatinamente drenada e assistiu à explosão de cupinzeiros construtores de ninhos epígeos, que favoreceram à melhoria da drenagem e expansão de espécies arbustivas e arbóreas, onde os ninhos oferecem drenagem suficiente para raízes, entre os cupinzeiros, predominam campos

brejosos; (2) hidropedológicos, em que o abaixamento do lençol freático e incisão da drenagem é acompanhada da expansão dos cupinzeiros, atingindo um máximo nos Plintossolos; (3) tempo, em que o avanço do intemperismo e lixiviação, reduzindo a oferta de recursos (nutrientes) passa a controlar a população de cupins, ainda que os efeitos cumulativos de sua atuação se revelem como cupinzeiros mais amplos, já erodidos, com menor atividade atual.

A diferença na densidade de cupinzeiros de *A. excellens* nas duas classes de solo estudadas diferem dos resultados encontrados por Jouquet et al. (2015) para ninhos epígeos da espécie *O. obesus*. Os autores sugerem que os ninhos apresentam densidades semelhantes tanto em Latossolos, quanto em Vertissolos, não havendo diferenças significativas, porém variam em relação à erosão, já que nos Vertissolos a erosão hídrica é mais acentuada, criando grandes mantos por conta da mineralogia, pois são mais ricos em Argilas expansivas 2:1. Diante dessa observação é possível inferir que as propriedades de diferentes classes de solo modificam a estrutura e estabilidade do cupinzeiro (JOUQUET et al., 2015). A erosão hídrica é um fator importantíssimo, que pode ser um dos fatores que elucidam o impedimento da construção dos ninhos epígeos de *A. excellens* em Planossolo, sendo que nessa classe também há diferença na densidade em relação ao Plintossolo e Argissolo, porém não podemos afirmar, visto que esses dados não foram analisados estatisticamente nessa pesquisa.

Em Plintossolo, a densidade *A. excellens* é considerada alta, média de 40 cupinzeiros por hectare, configurando alto grau de pedobioturbação, podendo ser comparado com os resultados encontrados por Funch (2014), na região semi-árida do Nordeste, que mapeou o centro do Estado da Bahia, o norte de Minas Gerais constatando que os cupins da espécie *Syntermes dirus* Burmeister cobrem uma área de 112.000 k m<sup>2</sup>, apresentando densidades que chegam a 35 cupinzeiros por hectare.

A altura dos cupinzeiros de *A. excellens* difere significativamente entre as diferentes classes de solo, a altura média de cupinzeiros no Argissolo é de 2.08 m e no Plintossolo é de 1.57 m ( $t = 5.0822$ ,  $P < 0,001$ ). O volume total médio de cupinzeiros em Argissolo é de 25.48 m<sup>3</sup>ha<sup>1</sup> e em Plintossolo é de 14.31 m<sup>3</sup>ha<sup>1</sup> ( $t = 6.6005$ ,  $df = 105$ ,  $P < 0,001$ ), ambas as médias de altura e volume estão representadas na Figura 16A e B respectivamente.

Resultados semelhantes ao encontrados em cupinzeiros de *A. excellens* em Argissolo nessa pesquisa foram observados por Funch (2014) em Argissolos ácidos que são naturalmente pobres em nutrientes. Os autores descreveram os ninhos de *S. dirus*, que apresentam estruturas biogênicas cônicas de 9 metros de diâmetro ao nível do solo e de 2 a 4 metros de altura, que estimam um volume médio de 24 m<sup>3</sup>ha<sup>1</sup>. Assim como ninhos de *A. excellens* na Região do Surumu, os ninhos de *S. dirus* estão inseridos em uma paisagem semi-árida, com vegetação

semelhante, que remetem à caatinga, sendo que as condições ambientais de fitofisionomia e condições climáticas contribuíram para a evolução da mesma classe de solo, sugerindo que essa seja a principal evidência da similaridade em hábitos nidificantes comuns a essas duas espécies de cupins epígeos.

A quantidade de solo retrabalhada pelos cupins (pedobioturbação) possui correlação positiva com a altura em Plintossolo ( $R^2 = 68\%$ ,  $P > 0,001$ ) e Argissolo ( $R^2 = 82\%$ ,  $P > 0,001$ ). Os resultados da regressão linear sugerem que, quanto maior é o ninho, maior é o seu volume e quanto menor o ninho, menor é o seu volume em ambas as classes de solo (Figura 17A e B). A circunferência na base do ninho está correlacionada positivamente com a altura em Plintossolo ( $R^2 = 23\%$ ,  $P > 0,001$ ), porém essa é uma correlação baixa se comparada com a circunferência e altura nos Argissolos ( $R^2 = 51\%$ ,  $P > 0,001$ ) (Figura 18A e B).

A densidade dos cupinzeiros de *A. excellens* nas áreas de estudo, reflete no volume e consequentemente influencia a distância entre eles. Os cupinzeiros em Argissolos exibem altura e volume maiores, porém são mais espaçados entre si em comparação com os cupinzeiros em Plintossolo, que são mais densos, porém apresentam altura e volume menores. Diante dessa observação, podemos sugerir que os cupinzeiros de Argissolo são mais antigos, pelo tamanho refletir na idade dos ninhos (SEYMOUR et al., 2014). O maior volume desses cupinzeiros em Argissolo indica maior tempo de evolução, portanto, exibem maior estabilização do sistema hidrológico, com menos atividade atual de cupins construtores de ninhos epígeos.

O comportamento de densidade e volume de *A. excellens* nessa pesquisa, foi observado em outras espécies epígeas em áreas de savanas alagadas e arenosas, onde foi constatado tamanhos menores dos cupinzeiros nessas condições (DAVIES et al, 2014), dessa forma, áreas mais arenosas é um dos possíveis motivos que limitam o tamanho do cupinzeiro em Plintossolos, pois esses solos são naturalmente mais arenosos em comparação com os Argissolos (SCHAEFER; VALE JÚNIOR, 1997; VALE JÚNIOR; SCHAEFER, 2010).

A dinâmica que ocorre entre densidade, tamanho e distância dos cupinzeiros de *A. excellens* nas diferentes classes de solo nessa pesquisa, pode ser explicada pelos processos endógenos de nidificação da colônia. Os ninhos maiores apresentam maior estrutura interna de galerias, logo terão um maior arcabouço de sustentação no subsolo (FERREIRA et al., 2011; KRISHNA et al., 2013). Essa densidade dos cupinzeiros, pode ser utilizada para estimar a biomassa total, portanto as características fenotípicas de *A. excellens* refletem na quantidade de ninhos, que provavelmente são impulsionados por nascimentos e mortes de colônias, resultando na limitação do crescimento dos ninhos já existentes (PEQUENO et al., 2013).

Figura 16 – Comparação entre as médias nas diferentes classes de solo estudadas na Formação Surumu, Roraima: A) Altura dos cupinzeiros; B) Volume dos cupinzeiros.

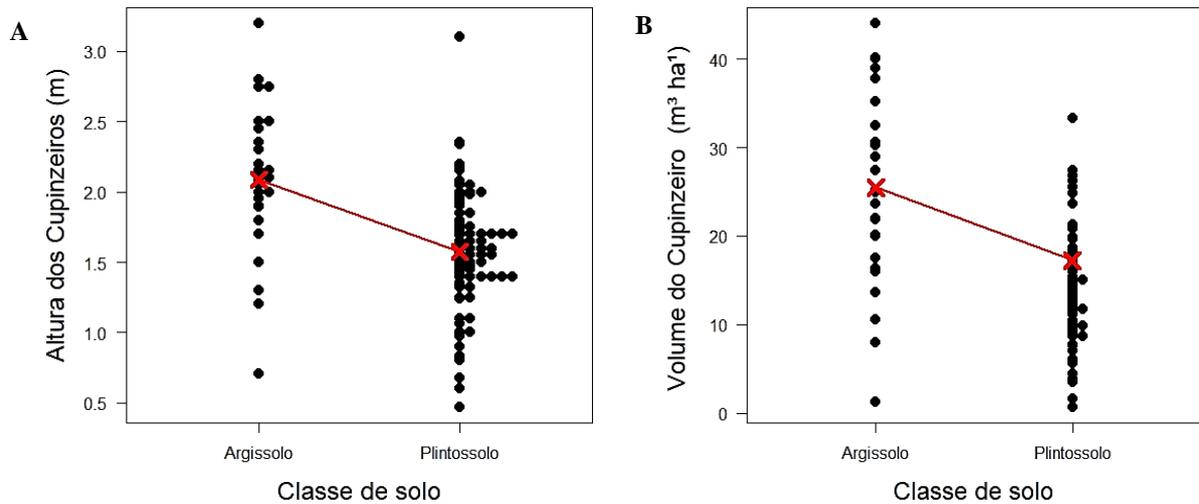


Figura 17 - Regressão linear entre o volume e a altura dos cupinzeiros na Formação Surumu, Roraima: A) Em Plintossolo Háplico; B) Em Argissolo Vermelho-amarelo.

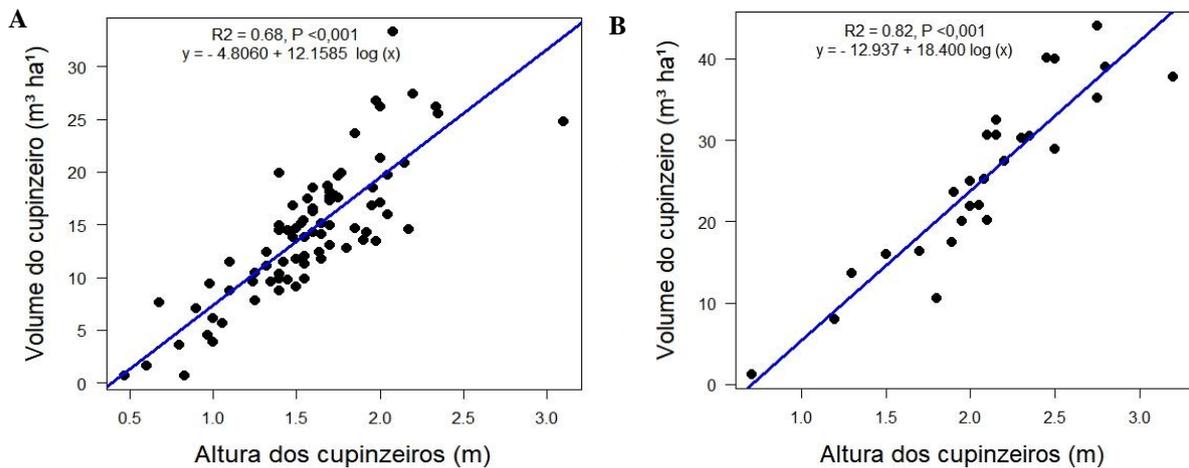
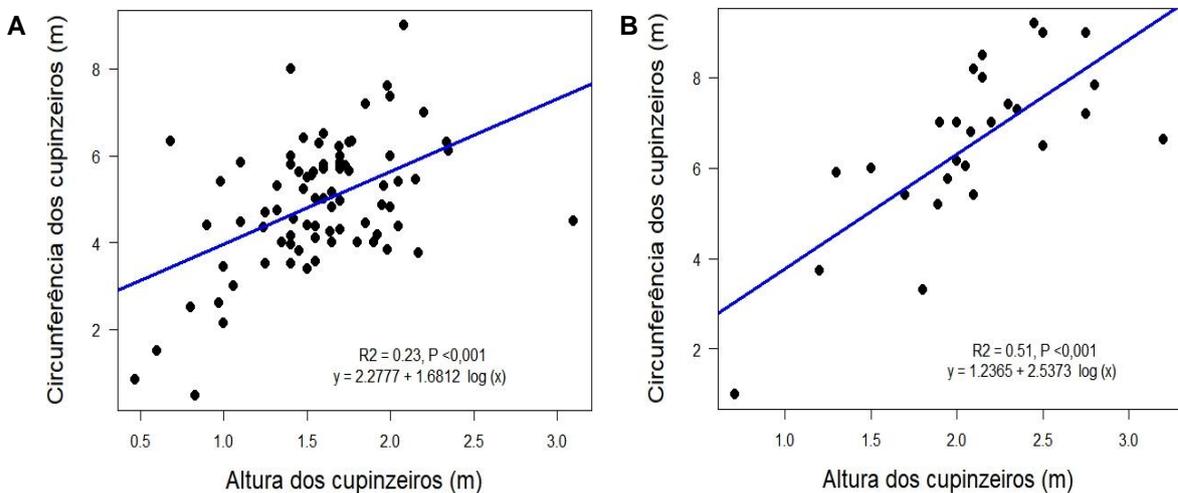


Figura 18 - Regressão linear entre a circunferência dos cupinzeiros e a altura na Formação Surumu, Roraima: A) No Plintossolo Háplico; B) No Argissolo Vermelho-amarelo.



Fonte: AUTOR (2018).

A demanda por forrageamento é um fator que está relacionado ao tamanho da colônia, pois, ninhos maiores, conseqüentemente apresentam colônias maiores, sendo portanto necessária maior área de forrageamento para atender as demandas de alimentação de todas as castas (KRISHNA et al., 2013). Essa maior área de forrageamento limita os recursos pra outras colônias da mesma espécie, configurando competição intra-específica, a mesma explicação pode ser aplicada em ninhos menores, que apresentam o tamanho da colônia compatível e conseqüentemente menor área de forrageamento, diminuindo a competição intra-específica, o que resulta em densidades mais elevadas (BUSCHINI, 2006; DAVIES et al., 2014).

A hipótese que a densidade e tamanho estão relacionadas a competição intra-específica é reforçada por Bruschini et al (2006), em um estudo com ninhos epígeos de *Cornitermes cumulans*, os autores constataram que a densidade populacional de cupinzeiros em uma área de pastagem no município de Rio Claro (SP) é relativamente baixa, nesse ambiente os ninhos que são mais próximos entre si, apresentam diminuição significativa no tamanho e volume do ninho em comparação com os ninhos mais afastados.

A disponibilidade de argila para a construção dos ninhos, pode ser o principal fator que permite que em Argissolos os cupinzeiros de *A. excellens* sejam maiores e robustos, pois, altos teores de argila são importantes para a estabilidade de estruturas mais íngremes (DAVIES et al., 2014; JOUQUET et al., 2004). Pequeno et al. (2015) constataram em um estudo sobre a densidade de três espécies de cupins na região central de Florestas Amazônicas, que os padrões populacionais relacionados à textura do solo sustentam a hipótese de que demandas por forrageamento e a capacidade de construção, afetam a densidade e estrutura de tamanho nas populações de cupins, sendo a capacidade de construção favorecida por solos mais argilosos. Diante do exposto na literatura, podemos sugerir que o padrão que leva a tamanhos maiores dos ninhos de *A. excellens* nos Argissolos, de fato está relacionado à textura, pois os cupinzeiros têm maior disponibilidade de argila para a construção dos seus ninhos.

Ninhos epígeos de *A. excellens* nesse trabalho, apresentam a circunferência altamente correlacionada com a altura (Figura 17.A e B), portanto os ninhos mais altos tendem a ter uma base maior na circunferência, essa correlação é mais forte em Argissolo, porque os cupinzeiros apresentam estruturas maiores, porém em Plintossolo também há correlação. Esse mesmo padrão de correlação foi observado em ninhos de *C. cumullans* em pastagens do Mato Grosso do Sul, esses ninhos tendem a ter tamanho menor em comparação com *A. excellens* e possuem estrutura epígea mais arredonda, porém os coeficientes de correlação entre a circunferência e altura são significativos (LIMA et al., 2015).

A erosão estimada dos cupinzeiros pode criar um manto de até 18,89 cm em Plintossolo e 11,46 cm em Argissolo em 10.000 anos, levando-se em consideração a vida útil média de uma colônia que é 30 anos, as estimativas de ciclagem de nutrientes estão expressas na Tabela 5. A média para os ambientes de Savana estépica estudados foi de 30,35 cm, sendo esse o valor de material dos cupinzeiros erodido que retornará ao solo nos processos de gênese por decaimento e erosão dos cupinzeiros, enriquecendo o solo com altas concentrações de argila enriquecida com nutrientes. Os valores de manto estimados para savana estépica roraimense apresentam valores máximos inferiores aos encontrados por Sarcinelli et al. (2009) que estimou mantos de solos de até 100 cm em Zona da Mata e Viçosa (MG) com média de e Sarcinelli (2010) que estimou mantos de até 47,35cm, porém obteve uma média de 17,5cm em diferentes fitofisionomias de Floresta de Tabuleiro - BA.

Tabela 4 - Estimativa na densidade de cupinzeiros e volume de solo ciclado por cupins nas classes de solos estudadas na Formação Surumu, Roraima.

<b>Classe de Solo</b>	<b>Densidade (ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Volume de solo médio (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>)<sup>1/</sup></b>	<b>Camada de solo (cm) <sup>2/</sup></b>
Plintossolo (Sítio 1)	39	12	0,31	15,61
Plintossolo (Sítio 2)	41	16,5	0,40	22,56
<b>Média Sítios 1 e 2</b>	40	14,25	0,35	18,89
Argissolo (Sítio 3)	13	28,3	2,17	12,25
Argissolo (Sítio 4)	14	22,9	1,63	10,68
<b>Média Sítios 3 e 4</b>	13,5	25,6	1,89	11,46

<sup>1/</sup> Volume de solo médio de cupinzeiro, estimado pelo volume dividido pela densidade; <sup>2/</sup>camada de solo que retorna à superfície em um período de 10.000 anos, considerando vida média de 30 anos pra os cupinzeiros.

A variação de tamanho dos cupinzeiros reflete na concentração de partículas enriquecidas de argila, essas partículas retornarão ao solo através do decaimento e erosão do ninho (ABE et al., 2011; ABE; YAMAMOTO; WAKATSUKI, 2009). Esse é o segundo processo de gênese de solo promovida pelos cupins, os cupinzeiros maiores têm maiores alcances, podendo influenciar o solo adjacente em maiores distâncias, também têm maior influência nos horizontes mais profundos, pois têm maiores estruturas abaixo do solo. Essa redistribuição de nutrientes, permanecerá pelo menos por alguns anos após a morte da colônia original morrer (RÜCKAMP et al., 2011).

Diante da alta densidade de cupinzeiros da espécie *A. excellens* na área de estudo, podemos estimar que os efeitos desses ninhos sobre a gênese de solo e ciclagem de nutrientes são de grande importância ecológica para o ambiente de savana estépica da Formação Surumu, pois, apresentam todos os quesitos necessários para modificar as propriedades físicas e químicas dos solo, tanto nos Argissolos, pois, além de serem menos frequentes têm estruturas maiores, quanto em Plintossolos que compensam os volumes menores pela alta frequência, inclusive apresentando maiores estimativas de camada de solo erodido (Tabela 5).

Grohmann et al. (2012) confirmaram em estudo com cupinzeiros do gênero *Macrotermes* em savana africana, que a variação no tamanho, estrutura e função dos cupinzeiros influenciam fortemente as concentrações de nutrientes retidos pelo ninho, sugerindo que a influência direta dos cupinzeiros em relação aos solos circundantes tem relação com altas densidade e distribuição dos ninhos. Os mesmos resultados também foram observados por Erens et al. (2015) em uma floresta secundária de miombo no Congo, os autores confirmaram que a espécie de cupim epígeo de *M. falciger* só é capaz de acumular nutrientes quando o ninho atinge um certo tamanho. Devido à grande similaridade dos ninhos de *Macrotermes* com os ninhos de *A. excellens* na savana roraimense, podemos inferir que a contribuição de *A. excellens* na Formação Surumu, assemelha-se aos grandes cupinzeiros do gênero *Macrotermes*, pois apresentam estruturas nidificantes similares, e por mais que não sejam cultivadores de fungos, ainda sim, pelo volume que possuem, são capazes de reter altas concentrações de nutrientes e redistribuí-los ao longo do tempo. Porém, em Argissolo, onde apresentam volumes maiores, essa dinâmica se intensifica, embora não se tenham constatado diferenças estatísticas na composição química dos cupinzeiros em Argissolos e Plintossolos.

Após a morte dos cupinzeiros, a argila que está concentrada nos ninhos sofre os processos de erosão, o que gera as camadas de solo com maior teor de argila, essa rotação de partículas concentra mais argila ao redor dos ninhos, promovendo dinâmica de redistribuição de partículas e nutrientes que criam pontos críticos nutricionais, disponibilizando recursos para o ecossistema (ABE et al., 2011; ABE; YAMAMOTO; WAKATSUKI, 2009). Os cupinzeiros de *A. excellens* nesse estudo, claramente criam ilhas de fertilidade, que agrupam diversas espécies vegetais, essa associação, pode aumentar a robustez do ecossistema de terras secas às mudanças climáticas (BONACHELA et al., 2015). As ilhas são responsáveis por criar refúgios, tanto para plantas quanto para núcleos que influenciam a taxa de brotamento após perturbações ambientais, podendo melhorar a resistência e recuperação das zonas da seca (JOSEPH et al., 2014).

A vegetação associada à cupinzeiros em ambientes de savana, como é o caso da Formação Surumu, pode estar mais adaptada à disponibilidade de nutrientes um exemplo é a associação de vegetação específica ao gênero *Macrotermes* na África (DAVIES; BALDEC; ASNER, 2016). A maior densidade de espécies arbóreas em torno dos ninhos, disponibiliza alimentação para os cupins, aumentando significativamente a frequência populacional da colônia (DAVIES, et al., 2014; JOSEPH et al., 2014). Essa associação pode apresentar possível coevolução, indícios dessa relação evolutiva é fundamentada pelo fato da mesma vegetação não apresentar as mesmas respostas da vegetação de solos circundantes não influenciados por cupinzeiros (JOSEPH et al., 2014). Outros fatores que promovem o crescimento arbóreo é a alta disponibilidade de água pelos cupinzeiros, os vegetais associados à cupinzeiros recuperam-se mais rápido do estresse causado por incêndios que ocorrem naturalmente em ambientes de savana (JOSEPH et al., 2014; VAN DER PLAS et al., 2013).

Essas relações expõem a importância das grandes estruturas biogênicas dos cupinzeiros de *A. excellens* inseridos na paisagem da Formação Surumu, pois a ausência dos mesmos afetaria de forma drástica toda a composição florística desse ambiente, sugerindo baixas densidade e distribuição da vegetação predominante (*Curatella americana*; *Byrsonima* sp. e cactáceas) que quase sempre estão associadas à cupinzeiros nessa região. Os solos desse ambiente são característicos por baixa fertilidade em todas as extensões da bacia, portanto, a contribuição da engenharia ecossistêmica dos cupins nesse ambiente, devido ao grande tamanho e elevada densidade, retém um considerável estoque total de nutrientes do ecossistema (JOUQUET et al., 2007), portanto responsável por promover um importantíssimo trabalho na ciclagem e distribuição de nutrientes para o ecossistema.

## 4 CONCLUSÕES

A composição faunística na Formação Surumu apresenta riqueza de 16 espécies pertencentes a 9 gêneros das famílias Rhinotermitidae (uma única espécie) e Termitidae, subfamílias Apicotermitinae, Nasutitermitinae e Termitinae.

Não há diferenças na diversidade das espécies frequentes: eudominantes, dominantes e subdominantes entre o Argissolo Vermelho-amarelo e o Plintossolo Háptico, porém a há diferença na composição de espécies raras.

O padrão de nidificação da assembleia de cupins da Formação Surumu apresenta dominância por cupins que constroem ninhos hipógeos e difusos no solo.

O grupo trófico de cupins apresenta dominância dos humívoros, seguidos dos xilófagos, intermediários e os ceifadores, sendo a alimentação correlacionada com o padrão de nidificação.

Dentre as espécies que apresentam distribuição exclusiva de ambientes abertos, as espécies *Cortaritermes intermedius* e *Grigiotermes* sp.1 não apresentavam registro de ocorrência na Amazônia até o presente estudo.

A espécie *A. excellens* modifica as propriedades físicas do solo durante a construção e manutenção dos ninhos, o material dos cupinzeiros difere dos solos superficiais e assemelha-se ao subsolo em aspectos texturais, configurando transporte vertical de partículas finas.

As características físicas estão correlacionadas com a composição química dos cupinzeiros, capacitando-os a concentrarem macronutrientes (N, P e K), micronutrientes ( $Mg^{2+}$   $Ca^{2+}$ ) e matéria orgânica.

A dinâmica de ciclagem de nutrientes nos cupinzeiros da espécie *Amitermes excellens* é importante para manutenção da heterogeneidade de paisagem em solos quimicamente pobres pertencentes à Argissolos Vermelho-amarelos e Plintossolos Hápticos na Formação Surumu.

A densidade de cupinzeiros difere em Argissolos Vermelho-amarelos ( $13,5 \text{ ha}^{-1}$ ) e Plintossolos Hápticos ( $40 \text{ ha}^{-1}$ ), essa diferença é possivelmente explicada por um conjunto de fatores: condições paleoclimáticas, hidropedológicas e o tempo associados à competição intra-específica e disponibilidade de argila.

A pedobioturbação promovida pela espécie *Amitermes excellens* na savana estépica da Formação Surumu produz efeitos importantes na gênese do solo, onde através de processos erosivos e decaimento do ninho, devolvem os nutrientes concentrados nos cupinzeiros durante longos períodos aos solos.

## REFERÊNCIAS

- ABE, S. S. et al. Soil particle accumulation in termite (*Macrotermes bellicosus*) mounds and the implications for soil particle dynamics in a tropical savanna Ultisol. **The Ecological Society of Japan**, Tokyo, v.27, n.1, p.219-227, dec. 2011.
- ABE, S.S.; YAMAMOTO, S.; WAKATSUKI, T. Physicochemical and morphological properties of termite (*Macrotermes bellicosus*) mounds and surrounding pedons on a toposequence of an inland valley in the southern Guinea savanna zone of Nigeria. **Soil Science and Plant Nutrition**, [S. l.], v.55, n.4, p. 514-522, jul./aug. 2009.
- AB'SABER, A. N. A Formação Boa Vista: Significado geomorfológico e geocológico no contexto do relevo de Roraima. In: BARBOSA, R. I.; FERREIRA, E. J. G.; CASTELLÓN, E. G. **Homem, ambiente e ecologia no estado de Roraima**. Manaus: INPA, 1997. p. 267-292.
- ACKERMAN, I. L. et al. Termite (Insecta: Isoptera) Species Composition in a Primary Rain Forest and Agroforests in Central Amazonia. **Biotropica**, Washington, v.41, n.2, p.226-233, mar./apr. 2009.
- ALVES, W. F. et al. Termites as Bioindicators of Habitat Quality in the Caatinga, Brazil: Is There Agreement Between Structural Habitat Variables and the Sampled Assemblages? **Neotropical Entomology**, Londrina, v.40, n.1, p.39-46, jan./feb. 2011.
- ARAÚJO, V. F. P.; SILVA, M. P.; VASCONCELLOS, A. Soil-sampled termites in Two Contrasting Ecosystems within the Semiarid Domain in Northeastern Brazil: Abundance, Biomass, and Seasonal Influences. **Sociobiology**, Feira de Santana, v.62, n.1, p. 70-75, jan./mar. 2015.
- ARVETI, N. et al. Biogeochemical study of termite mounds: a case study from Tummalapalle area of Andhra Pradesh, India. **Environmental Monitoring and Assessment**, New York, v.184, n.4, p.2295-2306, apr. 2012.
- AZEVEDO, R. A.; MORAIS, J. W.; DABROS, C. L. Diversidade de cupins (Insecta: Isoptera) e sua associação com fatores bióticos e abióticos no parque nacional do viruá, Roraima In: II Congresso de Iniciação Científica PIBIC/CNPq-PAIC/FAPEAM. **Anais...** Manaus: 2013. p1-4.
- BANDEIRA, A. G. Térmites (Insecta: Isoptera) consumidores de liteira na ilha de Maracá, Roraima. **Acta Amazônica**, Manaus, v.21, p.15-23, 1991.

BARBOSA, R. I. Distribuição das chuvas em Roraima. In: BARBOSA, R. I.; FERREIRA, E. J. G.; CASTELLÓN, E. G. **Homem, ambiente e ecologia no estado de Roraima**. Manaus: INPA, 1997. p.325-335.

BEZERRA-GUSMÃO, M. A. et al. Are nests of *Constrictotermes cyphergaster* (Isoptera, Termitidae) important in the C cycle in the driest area of semiarid Caatinga in northeast Brazil? **Applied Soil Ecology**. [S. l.], v. 47, n.1 , p.1-5, jan. 2011.

BIGNELL, D. et al. Macrofauna. In: MOREIRA, F. M.S.; HUISING, E. J.; BIGNELL, D. **Manual de biología de suelos tropicales. Muestreo y caracterización de la biodiversidade bajo suelo**. México: Instituto Nacional de Ecología, 2012. p.91-148.

BISPO-SANTOS, F. et al. Towards Columbia: Paleomagnetism of 1980–1960 Ma Surumuvolcanic rocks, Northern Amazonian Craton. **Precambrian Research**. Amsterdam, v. 244, p.123-138, may. 2014.

BRASIL. **Projeto RADAMBRASIL. Folha NA. 20 Boa Vista e parte das Folhas NA. 21. Tumucumaque, NA. 20 Roraima e NA. 21**. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, 1975. v.8.

BODENHEIMER, F. S. **Précis D`écologie animale**. Vol.1, Paris: Payot. Paris, 1955. 315p.

BONACHELA, J. A. et al. Termite mounds can increase the robustness of dryland ecosystems to climatic change. **Science**, New York, v.347, n.6222, p. 651-655, feb. 2015.

BOURGUIGNON, T.; EPONCE, M.; ROISIN, Y. Are the spatio-temporal dynamics of soil-feeding termite colonies shaped by intra-specific competition? **Ecological entomology**, London, v.36, n.6, p.776-785, nov./dec. 2011.

BOURGUIGNON, T. et al. Influence of Soil Properties on Soldierless Termite Distribution. **Plos one**. [S. l.], v. 10, n.8, p.1-11, aug. 2015.

BUSCHINI, M. L. T. Spatial Distribution of nests of *Cornitermes cumulans* (Isoptera: Termitidae) in a pasture in the municipality of Rio Claro (SP), Brazil. **Ambiência - Revista do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais**, Guarapuava, v.2, n.1 p.65-72 jan./jun. 2006.

CANCELLO, E. M et al. Latitudinal Variation in Termite Species Richness and Abundance along the Brazilian Atlantic Forest Hotspot. **Biotropica**, Washington, v.46, n.4, p.441-450, jul./aug. 2014.

CARRIJO, T. F. et al. Effects of pasture implantation on the termite (Isoptera) fauna in the Central Brazilian Savanna (Cerrado). **Journal of Insect Conservation**, Boa Vista, v.13, n.6, p. 575-581, dec. 2009.

CARRIJO, T. F et al. Key to the soldiers of *Angularitermes* Emerson with a new species from Brazilian Amazonia (Isoptera: Termitidae: Nasutitermitinae). **Zootaxa**, Recife, v.2967, p.61–68, jul. 2011.

CARRIJO, T. F.; CUEZZO, C.; SANTOS, R. G. *Tiunatermes mariuzani* gen. nov. et sp. nov., a new nasute termite from the Brazilian savannah (Isoptera: Termitidae). **Austral Entomology**, Malden, v.54, n.4, p.358-365, nov./jan. 2015.

CARRIJO, T. F.; CONSTANTINI, J. P.; SCHEFFRAHN, R. H. *Uncitermes almeriae*, a new termite species from Amazonia (Isoptera, Termitidae, Syntermitinae). **ZooKeys**, Sófia, v.195, n.6, p.1-6, jun. 2015.

CARVALHO, S. H.; CONSTANTINO, R. Taxonomic Revision of the Neotropical Termite Genus *Curvitermes* Holmgren (Isoptera: Termitidae: Syntermitinae). **Sociobiology**, Feira de Santana, v.57, n.3, p.643-657, abr./maio. 2011.

CARVALHO, A. S.; MILLIOTTI, C. A. Descrição Mesoscópica e caracterização petrográfica das rochas vulcânicas do grupo Surumu aflorantes no norte-nordeste do estado de Roraima-Brasil. In: HORBE, A. M. C.; SOUZA, V. S. (Org.) **Contribuição à Geologia da Amazônia**. Manaus: Gráfica e Editora Silva, 2005. p. 113-124.

CHOUVENC, T. et al. Revisiting Coptotermes (Isoptera: Rhinotermitidae): a global taxonomic road map for species validity and distribution of an economically important subterranean termite genus. **Systematic entomology**, Oxford, v.41, n.2, p.299-306, apr./jun. 2016.

CONSTANTINO, R. Two new species of termites (Insecta, Isoptera) from western Brazilian Amazonia, **Boletim do Museu paraense Emílio Gueudi - Série Zoologia**, Belém, v. 1, n. 6, p.3-9, 1990.

\_\_\_\_\_. Notes on *Embiratermes* fontes (Isoptera, Termitidae, Nasutitermitinae), with Description of two new species from Amapá state, Brazil. **Boletim do Museu paraense Emílio Gueudi - Série Zoologia**, Belém, v. 8, n. 2, p.328-336, 1992.

\_\_\_\_\_. Chave ilustrada para identificação dos gêneros de cupins (Insecta: Isoptera) que ocorrem no Brasil. **Papéis avulsos de Zoologia**, São Paulo, v.40, n.28, p.387-448, 1999.

\_\_\_\_\_. An illustrated Key to Neotropical termite genera (Insecta: Isoptera) based primarily on soldiers. **Zootaxa**, Recife, v. 67, p.1-40, aug. 2002.

\_\_\_\_\_. The pest termites of South America: Taxonomy, distribution and status. **Journal of Applied Entomology**. 126: 355-365. 2002.

CONSTANTINO, R. et al. Taxonomic revision of the Neotropical termite genera *Labiotermes* Holmgren and *Paracornitermes* Emerson (Isoptera: Termitidae: Nasutitermitinae), **Zootaxa**, Recife, v. 1340, p.1-44, oct. 2006.

\_\_\_\_\_. **Manual de coleta e identificação de cupins**. Brasília: Universidade de Brasília-Departamento de Zoologia-Laboratório de Termitologia, 2016. 9p.

CONSTANTINO, R.; CANCELLO, L. M. Cupins (Insecta: Isoptera) da Amazônia Brasileira: Distribuição Geográfica e esforço de coleta. **Revista Brasileira de Biologia**. São Carlos, v.52, n.3, p.401-403, 1992.

CONSTANTINO, R.; ACIOLI, A. N. S. Termite diversity in Brasil (Insecta: Isoptera). In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. (Org.) **Soil Biodiversity in Amazonian and Other Brazilian Ecosystems**, 2006. p. 117-128.

COUTO, A. A. V. O. et al. Termite assemblages (Blattodea: Isoptera) in a habitat humidity gradient in the semiarid region of northeastern Brazil. **Zoologia**, Curitiba, v.32, n.4 p.281-288, jul./aug. 2015.

CUNHA, H. F. Cupins (Isoptera) bioindicadores para conservação do Cerrado em Goiás. 2006. 79p. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Programa de Pós-Graduação em em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006.

CUNHA, H. F. Distribuição espacial de cupinzeiros epígeos de pastagem no município de Iporá-GO, Brasil. **EntomoBrasilis**, Vassouras, v.4, n.2, p.45-48, maio/ago. 2011.

CUNHA, H. F.; COSTA, D. A.; BRANDÃO, D. Termite (Isoptera) Assemblages in Some Regions of the Goiás State, Brazil, **Sociobiology**, Feira de Santana, v.47, n.2, p.1-14, apr./jun. 2006.

CUNHA, H. F.; ORLANDO, T. Y. S. Functional composition of termite species in areas of abandoned pasture and in secondary succession of the Parque Estadual Altamiro de Moura Pacheco, Goiás, Brazil. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 6, p. 986-992, nov./dec. 2011.

DABROS, C. S. et al. Termite species list in a terra firme and ghost forest associated with a hydroelectric plant in Presidente Figueiredo, Amazonas, Brazil. **Check List**, [S. l.] v. 8, n.4, p.718–721, jul./aug. 2012.

DAVIES, A. B.; BALDECK, C.A.; ASNER, G. P. Termite mounds alter the spatial distribution of African savanna tree species. **Journal of biogeography**, Malden, v.43, n.2, p.301-313, feb. 2016.

DAVIES, A. B. et al. Spatial variability and abiotic determinants of termite mounds throughout a savanna catchment. **Ecography**, Lund, v.37, n.9, p.852-862, sep. 2014.

DONAGEMA, G. K. et al. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.

DONOVAN, S.E.; EGGLETON, P. BIGNELL, D.E. Gut content analysis and a new feeding group classification of termites. **Ecological Entomology**, London, v.26, n.4, p.356-366, jul. 2001.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos -. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

ERENS. H. The origin and implications of variations in soil-related properties within *Macrotermes falciger* mounds. **Geoderma**, Amsterdam, v.249-250, n.7, p.40-50, jul. 2015.

FARIA, M. M. **Candeias (*Eremanthus* Sp.): Espacialização e Interações Ambientais no município de Mariana (Mg)**. 2012. 64p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

FERREIRA, E. V. O. et al. Termites action on the soil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.5, p.804-8011, may. 2011.

FUNCH, R. R. Termite mounds as dominant land forms in semiarid northeastern Brazil. **Journal of arid environments**, Whitford, v.122, n.1, p.27-29, nov. 2015.

GOSLING, C. M. et al. Effects of Erosion from Mounds of Different Termite Genera on Distinct Functional Grassland Types in an African Savannah. **Ecosystems**, New York, v.15, n.1, p.128-139, jan, 2012.

HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; OLIVEIRA JUNIOR, G. J. Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **E&S-Engineering and Science**, Cuiabá, v.1, n.05, p.83-90, jun. 2016.

JONES, D. T.; EGGLETON, P. Sampling termite assemblages in tropical forests: testing a rapid biodiversity assessment protocol. **Journal of Applied Ecology**, [S. l.], v.37, p.191-203, 2000.

JOSEPH, G. S. et al. Termite Mounds Increase Functional Diversity of Woody Plants in African Savannas. **Ecosystems**, New York, v.17, n.5, p.808-819, aug. 2014.

JOUQUET, P. et al. Effect of termites on clay minerals in tropical soils: fungus-growing termites as weathering agents. **European Journal of Soil Science**, [S. l.], v.53, p. 521-528, 2002.

\_\_\_\_\_. The soil structural stability of termite nests: Role of clays in *Macrotermes bellicosus* (Isoptera, Macrotermitinae) mound soils. **European Journal of Soil Biology**, [S. l.], v.40, p. 23-29, 2004.

\_\_\_\_\_. Role of the fungusgrowing termite *Pseudacanthotermes spiniger* (Isoptera, Macrotermitinae) in the dynamic of clay and soil organic matter content. An experimental analysis. **Geoderma**, Amsterdam, v.139, n.4, p. 127-133, apr. 2007.

\_\_\_\_\_. The origin of carbonates in termite mounds of the Lubumbashi area, D.R. Congo. **Geoderma**, Amsterdam, v.165, n.10, p.95-105, oct. 2011.

\_\_\_\_\_. Influence of soil pedological properties on termite mound stability. **Geoderma**, Amsterdam, v.262, n.1, p.40-51, jan. 2015.

JUNQUEIRA, L. K.; GONÇALVES, E. R.; TEIXEIRA, L. M. C. Termite communities in Sugarcane Plantations in Southeastern Brazil: an Ecological Approach. **EntomoBrasilis**, Vassouras, v.8, n.2, p.105-116, mai./ago. 2015.

KASPARI, M. et al. Sodium shortage as a constraint on the carbon cycle in an inland tropical rainforest. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v.6, n.46, p. 19405-19409, nov. 2009.

KRISHNA, K. et al. **Treatise on the Isoptera of the World: Vol. 1 introduction**. Bulletin of the American Museum of Natural History, New York, v.377, p.1-200, apr. 2013.

KRISTENSEN, J. A. et al. Quantification of termite bioturbation in a savannah ecosystem: Application of OSL dating. **Quaternary Geochronology**, Oxford, v.30, n.1, p.334-341, oct./dec. 2015.

LIMA, S. S. et al. Spatial Variability and Vitality of Epigeous Termite Mounds in Pastures of Mato Grosso do Sul, Brazil. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. Viçosa, v. 39, p.49-58, sep. 2015.

MELO, V. F. et al. Aspectos pedológicos e de manejo de Roraima. In: BARBOSA, R. I.; MELO, V. F. (Org.) **Homem, Ambiente e Ecologia**. Boa Vista: FEMACT, 2010. p. 391-407.

MENDONÇA, D. R. M. **Cupins (Insecta: Isoptera) de uma área de Floresta primária na região de São Gabriel da Cachoeira (AM) e influência de fatores ambientais sobre sua assembleia**. 2009. 77p. Dissertação (Mestrado em Biologia Tropical e Recursos Naturais) - Divisão do Curso de Entomologia, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2009.

MORAIS, J. W. et al. Mesofauna do Solo em Diferentes Sistemas de Uso da Terra no Alto Rio Solimões, AM. **Neotropical Entomology**, Londrina, v.39, n.2, p. 145-152, mar./apr. 2010.

MUJINYA, B. B. et al. Clay composition and properties in termite mounds of the Lubumbashi area, D.R. Congo. **Geoderma**, Amsterdam, v.192, n.1, p.304-315, jan. 2013.

MÜNSELL, Color. **Soil Color Charts. Baltimore**. Washington: Munsell Color Company, 1994.

NÚÑEZ, B. N. C. et al. Ocupação de ninhos de cupins epígeos e arbóreos em fragmento de Caatinga hipoxerófila em Bom Jesus-PI. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v.2, n.3, p.164-169, 2011.

OLIVEIRA, D; CARRIJO, T. F.; BRANDÃO, D. Species Composition of Termites (Isoptera) in Different Cerrado Vegetation Physiognomies. **Sociobiology**, Feira de Santana, v.60, n.2, p.190-197, jan./mar. 2013.

PEQUENO, P. A. C. L. et al. The scaling of colony size with nest volume in termites: a role in population dynamics? **Ecological entomology**, London, v.38, n.5, p. 515-521, oct. 2013.

\_\_\_\_\_. Linking functional trade-offs, population limitation and size structure: Termites under soil heterogeneity. **Basic and Applied Ecology**. [S. l.], v.16, n.4, p.365–374, jun. 2015.

PRAXEDES, C.; MOURÃO Jr., M. Fauna do solo em ecossistemas naturais e antropizados de Roraima. In: BARBOSA, R. I.; MELO, V. F. (Org.) **Homem, Ambiente e Ecologia**. Boa Vista: FEMACT, 2010. p. 485-489.

PERES FILHO, O. et al. Diversity of termites in savanna areas submitted to different fire activities. **Floresta e ambiente**, Rio de Janeiro, v.19, n.1, p.91-100, jan./mar. 2012.

PINHEIRO, L. B. A. Atributos Edáficos e de Cupinzeiros de Cupim-de-Montículo (Isoptera: Termitidae) em Pinheiral-RJ. **Floresta e ambiente**, Rio de Janeiro, v.20, n.4, p.510-520, out./dez. 2013.

R Development Core Team (2012) **R: A Language and Environment for Statistical Computing**, Version 3.5.0. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

RESENDE, P. B. Hábitos **Alimentares de Cupins Sul-Americanos da Família Termitidae (Insecta: Isoptera)**. 2012. 54p. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

ROCHA, M. M.; CANCELLO, E. M. Estudo taxonômico de *Cylindrotermes* Holmgren (Isoptera, Termitidae, Termitinae). **Papeis Avulsos de Zoologia**, São Paulo, v.47, n.10, p.137-152, out. 2007.

ROCHA, M. M.; CANCELLO, E. M. Revision of the Neotropical termite genus *Orthognathotermes* Holmgren (Isoptera: Termitidae: Termitinae), **Zootaxa**, Recife, v. 2280, p.1–26, nov. 2009.

ROCHA, M. M.; CARRIJO, T. F.; CANCELLO, E. M. An illustrated key to the soldiers of *Cyranotermes* Araujo with a new species from Amazonia (Isoptera: Termitidae: Nasutitermitinae) **Zootaxa**, Recife, v.3196, p.50–57, feb. 2012.

ROCHA, M. M.; CANCELLO, E. M.; CARRIJO, T. F. Neotropical termites: revision of *Armitermes* Wasmann (Isoptera, Termitidae, Syntermitinae) and phylogeny of the Syntermitinae. **Systematic Entomology**, Oxford, v.37, n.4, p.793-827, oct./dec. 2012.

RÜCKAMP, D. et al. Soil genesis and heterogeneity of phosphorus forms and carbon below mounds inhabited by primary and secondary termites. **Geoderma**, Amsterdam, v.170, p.239-250, jan. 2012.

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

SARCINELLI, T. S. et al. Chemical, physical and micromorphological properties of termite mounds and adjacent soils along a toposequence in Zona da Mata, Minas Gerais State, Brazil. **Catena**, Amsterdam, v.76, n.2, p.107-113, jan. 2009.

SCHAEFER, C. E. G. R. Ecogeography and human scenario in Northeast Roraima, Brasil. **Journal of the Brazilian Association for the Advancement of Science**, London, v.49, n.4, p.241-252, 1997.

\_\_\_\_\_. Brazilian latosols and their B horizon microstructure as long-term biotic constructs. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v. 39, n.5, p. 909-926, 2001.

\_\_\_\_\_. **Diagrama esquemático da ocorrência de cupinzeiros de *Amitermes excellens* na região do Rio Surumu, Roraima**. 2018. 1 desenho técnico.

SCHAEFER, C.E.G.R. & VALE JÚNIOR, J.F. Mudanças climáticas e evolução da paisagem em Roraima: uma resenha do Cretáceo ao Recente. In: BARBOSA, R.I.; FERREIRA, E.J.G.; CASTELLÓN, E.G. (Org.). **Homem, ambiente e ecologia no Estado de Roraima**. Manaus: INPA, 1997. p.231-293.

SCHEFFRAHN, R. H. *Parvitermes* (Isoptera, Termitidae, Nasutitermitinae) in Central America: Two new termite species and reassignment of *Nasutitermes mexicanus*. **Zookeys**, Sófia, v.617, n.9, p.47-63, sep. 2016.

SEYMOUR, C. L. et al. Do the large termite mounds of *Macrotermes* concentrate micronutrients in addition to macronutrients in nutrient-poor African savannas? **Soil biology & biochemistry**, Elmsford, v.68, n.1, p.95-105, jan. 2014.

SILVA, A. P. T. et al. Termite species (Isoptera) in *Eucalyptus* culture under different irrigation management systems, in a region of transition from Cerrado to Pantanal in Mato Grosso do Sul, Brazil. **Revista árvore**, Viçosa, v.39, n.1, p.137-146, jan./feb. 2015.

SILVEIRA NETO, S.S., NAKANO, O., BARBIN, D., NOVA, V.A.N. **Manual de Ecologia dos Insetos**. São Paulo, CERES. 1976. 419 p.

SOUSA, J. A. C., COMINOTE, M., MORETTI, M. S. Spatial distribution of termite mounds in a Tabuleiro Forest, northern Espírito Santo. **Natureza on line**. Santa Teresa, v.12, n.5, p.256-258, 2014.

SOUZA, H. B.A., ALVES, W. F. E VASCONCELLOS, A. Termite assemblages in five semideciduous Atlantic Forest fragments in the northern coastland limit of the biome. **Revista Brasileira de Entomologia**, Curitiba, v.56, n.1, p.67-72, jan./mar. 2012.

VAN DER PLAS, F. et al. Functional traits of trees on and off termite mounds: understanding the origin of biotically-driven heterogeneity in savannas. **Journal of Vegetation Science**, Malden, v.24, n.2, p.227-238, mar./apr. 2013.

VASCONCELLOS, A. et al. Termite assemblages in three habitats under different disturbance regimes in the semi-arid Caatinga of NE Brazil. **Journal of Arid Environments**, Whitford, v.74, n.2, p.298-302, feb. 2010.

VALE JÚNIOR, J. F.; SCAEFER, C. E. G. R. **Solos sob Savanas de Roraima: Gênese, classificação e relações ambientais**. Boa Vista: Gráfica Ioris, 2010. 219p.

VIANA JUNIOR, A. B. et al. Termite assemblages in dry tropical forests of Northeastern Brazil: Are termites bioindicators of environmental disturbances? **Sociobiology**, Feira de Santana, v.61, n.3, p.324-331, jul./sep. 2014.