

PATANJALY BARBOSA DE ANDRADE

**SOLOS E VEGETAÇÃO ASSOCIADOS A CAVIDADES NATURAIS
SUBTERRÂNEAS NO GEOSSISTEMA FERRUGINOSO DA SERRA DOS
CARAJÁS - PARÁ**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2019

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

A553s
2019

Andrade, Patanjaly Barbosa de, 1991-
Solos e vegetação associados a cavidades naturais
subterrâneas no geossistema ferruginoso da Serra dos Carajás -
Pará / Patanjaly Barbosa de Andrade. – Viçosa, MG, 2019.
xi, 211f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Inclui apêndice.

Orientador: Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Laterização. 2. Comunidades vegetais. 3. Amazônia.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Solos.
Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas.
II. Título.


CDD 22 631.4098113

PATANJALY BARBOSA DE ANDRADE


**SOLOS E VEGETAÇÃO ASSOCIADOS A CAVIDADES NATURAIS
SUBTERRÂNEAS NO GEOSSISTEMA FERRUGINOSO DA SERRA DOS
CARAJÁS – PARÁ**

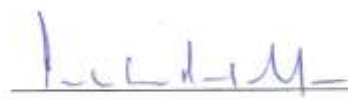
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 22 de fevereiro de 2019.


Fabio Soares de Oliveira


Guilherme Resende Corrêa
(Coorientador)


Andreza Viana Neri


Carlos E. G. R. Schaefer
(Orientador)

À minha família e à minha filha querida,
Dedico.

“Na boca de quem não presta, o que é bom não tem valia”
(Ditado popular)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente aos meus pais que me deram todo o apoio, força e sabedoria para continuar a minha caminhada, e à minha filha Catarina que alegra minha vida todos os dias e ao meu querido irmão Devachan Blavatsky.

À Universidade Federal de Viçosa e aos Professores do Departamento de Solos. Ao meu Orientador Carlos pelo incansável treinamento, e auxílio em todos os momentos pessoais e de cunho profissional, obrigado pela amizade e pelos ensinamentos durante essa caminhada.

Aos professores Fábio, Guilherme e Liovando que sempre me auxiliaram nas dúvidas e sempre estiveram dispostos a contribuir com a minha formação e com sua amizade.

Meus amigos Wendelo, Hugão, Rafael, Athos, Arthur (Jesus), David, Atilio, Jônatas, Matheus e Sofia, Allan, Vitor Morim, Milena, Anderson (Tibeição) e à minha grande companheira Marina que me ajudaram nos momentos mais difíceis e me acompanharam. Agradeço também à Raquel e Rodrigo, Prímula que me auxiliaram no desenvolvimento desse trabalho, e a todos do Grupo de Capoeira Angola Tribo do Morro, especialmente Professor Daniel Angoleiro. Ao Delmo do Parque Zoobotânico Vale pelas identificações botânicas. Todos vocês fizeram parte desse trabalho.

Agradeço também os companheiros do departamento de solos como Daví do Vale, Eduardo, Pelim, Dôdô, Pedrão, Thaislane, Demetrius, e todos os outros que me acompanharam nas disciplinas e vivências do dia a dia.

Agradeço também ao Instituto Chico Mendes para a Conservação da Biodiversidade pela bolsa e incentivo à pesquisa.

Agradeço também ao Núcleo TERRANTAR – UFV, por me dar suporte logístico para a realização das atividades.

Sem vocês esse trabalho não seria possível,

Muito obrigado!

BIOGRAFIA

PATANJALY BARBOSA DE ANDRADE, filho de Creusa Maria Andrade e Alexandre Andrade Filho, nasceu na cidade de Governador Valadares, Minas Gerais, em 25 de Julho de 1991.

Cursou o ensino fundamental e médio na Escola Cip-Com Objetivo Júnior, em GV. Concluiu o ensino médio em 2009.

Graduou-se em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Viçosa – UFV, campus de Viçosa, Minas Gerais, no ano de 2017.

No mesmo ano ingressou no Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal de Viçosa – UFV, na área de concentração de Gênese e Classificação dos Solos.

RESUMO

ANDRADE, Patanjaly Barbosa, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2019. **Solos e vegetação associados a Cavernas Naturais Subterrâneas no Geossistema Ferruginoso da Serra dos Carajás – Pará.** Orientador: Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer. Coorientador: Guilherme Resende Corrêa.

O Geossistema Ferruginoso da Serra dos Carajás é uma região de alta biodiversidade e geodiversidade ambiental. A região é compartimentalizada geomorfológicamente em Platôs suaves e ondulados associados à vales profundos com formações geológicas distintas. No interior dos platôs e na transição para os vales ocorrem Cavernas Naturais Subterrâneas, grandes *hotspots* nutricionais que abrigam uma comunidade vegetal e animal única, ainda pouco estudadas. As cavernas exercem grande influência na área de entorno condicionando a ocorrência de formações vegetacionais com composição florística distinta e solos associados. A partir do gradiente fitofisionômico e topográfico foram caracterizados todos os geoambientes e solos associados à cavernas em três platôs na Serra dos Carajás (N1, N4WS e S11D). Os solos estudados, apresentaram estrutura granular, pequena a muito pequena e forte com elevada porcentagem de concreções ferruginosas, teores elevados de argila e matéria orgânica, baixa CTC efetiva, V e SB, elevados teores de Al^{3+} no complexo de troca, teores relativamente baixos de metais pesados, valores elevados de ferro extraível e elevada acidez e distrofismo. Os solos no interior das cavernas apresentaram teores de Fósforo (Mehlich 1) significativamente elevados em relação aos demais geoambientes, comprovando que as Cavernas Naturais Subterrâneas são *hotspots* de Fósforo e de outros nutrientes. Esse fósforo é redistribuído ao longo da caverna e adjacências e influencia o porte da vegetação e composição florística. As cavernas apresentam elevada diversidade mineralógica com predominância de minerais de ferro, e fosfáticos. Os geoambientes estudados foram claramente diferenciados pela sua relação solo-vegetação com distinção clara entre fitofisionomias florestadas e de campo. Esses também diferenciaram quanto à sua composição florística em relação à cada Platô estudado, sendo seus Capões Florestais significativamente distintos. A deposição de guano de quirópteros na

cavidade demonstrou a forte influência desse geoambiente na dinâmica ecológica da Serra de Carajás e sua importância para a conservação da biodiversidade local.

ABSTRACT

ANDRADE, Patanjaly Barbosa, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2019. **Soil and vegetation associated with underground natural cavities in the Ferruginous Geosystem of the Serra dos Carajás - Pará.** Adviser: Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer. Co-adviser: Guilherme Resende Corrêa.

The Ferruginous Geosystem of Serra dos Carajás is a region of great environmental biodiversity and geodiversity. The region is geomorphologically compartmentalized in soft and wavy Plateaus associated with deep valleys with distinctive geological formations. In the Plateaus and in the transition zone to valleys Underground Natural Cavities are formed, they are great nutritional hotspots and contain a unique Vegetal and Animal community, poorly understood. The cavities exert great influence in their surroundings conditioning the occurrence of vegetational formations with distinctive floristic composition and soils associated. Using a phytophysionomic and topographic gradient the geoenvironments and soils associated with caves of tree plateaus were classified in the Serra dos Carajás (N1, N4WS, S11D). The studied soils presented a granular, small and very small and strong structure, with great percentage of ferruginous concretions, high content of clay and organic matter, low effective CEC, V and SB, high content of Al^{3+} in the exchange complex, and relatively low content of heavy metals, and high values of extractable iron and high acidity and dystrophy. Cave soils presented Phosphorus (Mehlich 1) significantly higher in comparison with the other geoenvironments, proving that Underground Natural Cavities are phosphorus and nutritional hotspots. This phosphorus is redistributed through the cavity and their surroundings and influences the vegetation size and floristic composition. The caves presented a high mineralogical diversity with predominance of iron minerals and phosphatic minerals. The geoenvironments studied were clearly differentiated by their soil-vegetation relationship with clear distinction between forested and field phytophysionomies. These also differentiated as to its floristic composition in relation with each plateau, being the “Capões Florestais” significantly different. The guano by the chiropterofauna in cavities showed the strong influence of this

geoenvironment in the ecological dynamic of Serra dos Carajás and its importance to the conservation of the local biodiversity.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	3
CAPÍTULO I: CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DOS SOLOS ASSOCIADOS À CAVIDADES NATURAIS SUBTERRÂNEAS NO GEOSISTEMA FERRUGINOSO DA SERRA DOS CARAJÁS - PA: MORFOLOGIA, FÍSICA, QUÍMICA E MINERALOGIA DOS SOLOS.	5
RESUMO	5
ABSTRACT	7
MATERIAIS E MÉTODOS	10
Área de Estudo	10
Caracterização Geral das Cavidades Naturais Subterrâneas	12
Cavidade N1-0174	12
Cavidade N4WS-0067 (Cavidade do Vale da Lua)	17
Cavidade S11D	21
Coleta, Descrição e Classificação dos Perfis de Solo	24
Análises Químicas e Físicas	24
Análises estatísticas	26
RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
DISCUSSÃO	51
Caracterização Geral dos solos	51
Caracterização Morfológica dos Solos	58
Atributos Físicos	60
Atributos Químicos	64
Análise de Componentes (ACP) Principais e Similaridade	82
Mineralogia da Fração Argila	85
Conclusões	94
REFERENCIAS	96
ANEXOS	101
CAPÍTULO II: RELAÇÕES SOLO-VEGETAÇÃO EM GRADIENTE FITOFISSIONÔMICO NAS CAVIDADES NATURAIS SUBTERRÂNEAS FERRUGINOSAS DA SERRA DOS CARAJÁS – PA.	158

RESUMO	158
ABSTRACT	159
INTRODUÇÃO	160
MATERIAIS E MÉTODOS	162
Área de Estudo	162
Coleta dos Dados	164
Análise dos dados	165
RESULTADOS	166
Composição Florística e Estrutura da Comunidade	166
Caracterização edáfica	172
Relação Solo e Vegetação	176
DISCUSSÃO	179
CONCLUSÕES	184
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	185
ANEXOS	189

INTRODUÇÃO GERAL

As cavernas são componentes de um sistema denominado “cárste”, que pode ser caracterizado como um complexo dinâmico em constante modificação, principalmente por ação da água (atuando na formação, moldagem e deposição de inúmeras feições) (GILBERT *et al.* 1994). Os Geossistemas de Cárste e cavidades podem ser encontradas em vários tipos de rochas, principalmente naquelas mais solúveis, como as carbonáticas (GINES & GINES, 1992), porém, outras litologias, como quartzitos, arenitos, granitos e as formações ferríferas bandadas também são susceptíveis à formação de cavernas (AULER & PILÓ, 2005).

O ambiente cavernícola exerce importante papel na manutenção da diversidade e estrutura dos ecossistemas adjacentes através, principalmente, das interações entre morcegos e plantas (KUNZ *et al.* 2011). As plantas são a principal fonte de recursos orgânicos para manutenção da biota no interior da caverna, em troca os morcegos polinizam e dispersam sementes que auxiliam na manutenção de espécies das angiospermas (CULVER & PIPAN, 2009; KUNZ *et al.* 2011; DONATO *et al.* 2014). Além dos morcegos, uma infinidade de invertebrados depende exclusivamente da cavidade e dos recursos do ambiente adjacente para reprodução e sobrevivência (BOULTON *et al.* 2008).

O Geossistema Ferruginoso da Serra dos Carajás (PA) está associado ao Grupo Grão Pará, Formação Carajás e apresenta uma constituição geológica com predominância de cangas e jaspilitos (formações ferríferas bandadas - BIF's) (Pereira, 2009). A região apresenta feições geomorfológicas compostas por platôs suaves e platôs de grande extensão, variando de 600 – 700 m em elevação. Nesse ambiente formou-se um grande número de cavidades associadas à presença de couraças ferruginosas (TOLBERT *et al.* 1971; SCHAEFER *et al.* 2008).

A região abriga em geral dois ambientes fitogeográficos distintos, um deles representado por florestas de grande porte com vegetação ombrófila tipicamente amazônica, que incluem os geoambientes das Florestas Ombrófilas Densas e Abertas, as Matas de Encosta e nas regiões dos topos aplainados

(Platôs) os Capões Florestais; e outra formada por uma formação vegetacional tipicamente herbáceo-arbustiva, formada pelos geoambientes dos Campos Rupestres Ferruginosos Abertos e Arbustivos que ocorrem exclusivamente associadas aos platôs lateríticos (AB'SABER, 1986; RIZZINI, 1979; VINCENT *et al*, 2002; VIANA & LOMBARDI, 2007; JACOBI *et al*, 2007; SCHAEFER *et al*, 2009). A diferenciação desses ambientes está diretamente relacionada com a natureza de seus solos e sua interconexão platô e vale.

Os solos da Serra dos Carajás são singulares pela presença da canga ferrífera, mas não existem estudos de solos em ambientes cavernícolas para a região. A partir desses estudos é possível realizar uma estratificação ambiental que permite a análise geoambiental da paisagem e a partir de análises físicas, químicas, morfológicas e mineralógicas o melhor entendimento da influência da caverna no ambiente de entorno. Os solos, portanto, permitem que se faça uma leitura da dinâmica ecológica da cavidade e sua influência no ambiente adjacente.

O estudo da relação entre solo e vegetação permite compreender como o conjunto de fatores edáficos, como atributos físicos e químicos dos solos influência na estrutura e composição das comunidades vegetais. O presente trabalho teve como objetivo analisar a composição florística da comunidade vegetal em três Cavidades Naturais Subterrâneas em três platôs da Serra dos Carajás (N1, N4WS e S11D) e sua relação com fatores pedológicos e com as cavidades.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AULER, A., PILÓ, L. B. 2005. Introdução às cavernas em minério de ferro e canga. **O Carste**, Belo Horizonte, 17(3):70-72.

BARTON, H.A. 2006. **Introduction to cave microbiology**: A review for the non-specialist. *Journal of Cave and Karst Studies*, v. 68, no 2, p. 43-54.

BOULTON, A. J. et al. 2008. Biodiversity, functional roles and ecosystem services of groundwater invertebrates. **Invertebrate Systematics**, v. 22, n. 2, p. 103–116.

DONATO, C. R., A. DE S. RIBEIRO, E L. DE S. SOUTO. 2014. A conservation status index, as an auxiliary tool for the management of cave environments. **International Journal of Speleology** 43:315–322.

FERREIRA, R. L. 2004. **A medida da complexidade biológica e suas aplicações na Conservação e Manejo de sistemas subterrâneos**. 161 f. Tese (Doutorado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre) Universidade Federal de Minas Gerais.

GILBERT, J.; DANIELPOL, D. L., & STANFORD, J. A. 1994. Groundwater Ecology. **Academic Press Limited**, San Diego, California. 571 pp.

GINES, A & GINES, J. 1992. Karst phenomena and biospeleological environments, p. 31- 55. In: MUS. NAC. CIENC. NATUR. (ED.). **The natural history of biospeleology**, monografias. Madrid, Spain. 677p. GNASPINI, P. & TRAJANO, E. 1998.

NUNES, J. A., SCHAEFER, C. E. G. R., JÚNIOR, W. G. F., NERI, A. V., CORRÊA, G. R. & ENRIGHT, N. J. 2015. Soil-Vegetation relationship on a banded ironstone 'island', Carajás Plateau, Brazilian Eastern Amazonia. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**.

SCHAEFER, C. E. G. R; MENDONÇA, B. A; JUNIOR, W. G; VALENTE, E. L; CORRÊA, G. R. 2012. Relações solo-vegetação em alguns ambientes brasileiros: fatores edáficos e florística. In: MARTINS, S. V. **Ecologia de Florestas tropicais do Brasil**. Editora UFV. Viçosa, Minas Gerais.

SCHAEFER, C. E. G. R., SIMAS, F. N., MEDONÇA, B. A. F., SABOYA, A. S., FERREIRA JÚNIOR, W. G., NUNES, J. A. & CORREA, G. R. 2008.

Geodiversidade dos Ambientes de Canga na Região de Carajás – Pará.
Relatório técnico Vale do Rio Doce, 75p.

TRENDALL, A. F. & MORRIS, R. C. Iron formation: Facts and problems.
Developments in precambrian geology, vol. 6. Amsterdam: **Elsevier Science
Publisher B. V.** 1983.

CAPÍTULO I: CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DOS SOLOS ASSOCIADOS ÀS CAVIDADES NATURAIS SUBTERRÂNEAS NO GEOSSISTEMA FERRUGINOSO DA SERRA DOS CARAJÁS - PA: MORFOLOGIA, FÍSICA, QUÍMICA E MINERALOGIA DOS SOLOS.

RESUMO

A Serra dos Carajás, localizada no sudeste do Pará, é uma região com grande diversidade de ecossistemas desenvolvidos sobre as formações ferríferas. Embora os solos de Carajás tenham sido pouco estudados, não existem estudos sobre os solos associados a ambientes cavernícolas. O presente estudo teve como objetivo caracterizar os solos dos principais geoambientes associados às Cavernas Naturais Subterrâneas a partir de análises físicas, químicas e mineralógicas; contribuindo para o estabelecimento da Zona de influência dessas cavernas e seu papel na dinâmica ecológica em Carajás. Foram descritos 26 perfis de solos distribuídos nos geoambientes de Capão Floresta, Mata de Encosta, Campos Rupestres Ferruginosos e Cavernas Naturais Subterrâneas nos platôs de N1, N4 e S11D. Nas regiões estudadas predominaram as seguintes classes de solo: Neossolos Litólicos, Plintossolos Pétricos e Plintossolos Argilúvicos. Os solos estudados de forma geral, apresentaram estrutura granular, pequena a muito pequena e forte com uma elevada porcentagem de concreções ferruginosas, teores elevados de argila e matéria orgânica, baixa CTC efetiva, V e SB, elevados teores de Al no complexo de troca, teores baixos de metais pesados, sendo Pb e Ni mais altos, valores elevados de Fe e elevada acidez e distrofismo; sendo ligeiramente mais ricos quimicamente na superfície. Os solos no interior das cavernas apresentaram teores de Fósforo (Mehlich 1) significativamente elevados em relação aos demais geoambientes, indicando as Cavernas Naturais Subterrâneas como *hotspots* de Fósforo em um Geossistema dominado pela pobreza química dos solos lateríticos da Serra dos Carajás. A deposição de guano de quirópteros tem influência significativa na adição de bases trocáveis como K, Na, Ca, Mg além de Cu, Mn, e Zn nos solos, concentrando mais nutrientes no seu interior, o que auxilia na manutenção da dinâmica ecossistêmica em Carajás. Os elevados teores de Fósforo nos solos das cavernas também indicaram os quirópteros

como fortes agentes bioespeleogênicos influenciando através do processo de fosfatização a gênese das cavidades. Os principais minerais identificados em todos os solos foram a Hematita, Maghemita, Goethita, Anatásio, Rutilo e Lepidocrocita, além da presença de minerais fosfáticos como Leucofosfita, Esfeniscidita, Strengita, Fosfositita, e Vermiculita, mineral 2:1, todos estes presentes apenas no interior das Cavidades Naturais Subterrâneas. Desses minerais identificados a Lepidocrocita e os minerais fosfáticos foram registrados pela primeira vez nos solos de Carajás.

ABSTRACT

The Serra dos Carajás, localized in the southeast of the State of Pará, is an region with great diversity of ecosystems developed on iron formations. The Carajás soils are still poorly studied, and there are none studies on soils associated with cave environments. The present study have as objective characterize the soils of the main geoenvironments associated with Underground Natural Caves by their physical, chemical and mineralogical attributes; contributing for the establishment of the Influence Zone of those caves and their role in the ecological dynamics in Serra dos Carajás. The 26 soils profiles were collected and described in consecutive geoenvironments: “Capão” Forest, Hillside Forest, Rupestrian Grasslands and Underground Natural Cavities, localized in the plateaus N1, N4 and S11D. In the studied regions predominated the following soil classes: Litholic Entisols, Petric Plinthosols and Argiluvic Plinthosols. In general the studied soils presented granular, small and very small and strong structure with a great percentage of ferruginous concretions, with high content of clay and organic matter, low effective CEC, V and BS, high content of Al in the exchange complex, low content of heavy metals, being Pb and Ni higher, and high content of Fe e elevated acidity and dystrophy; being slightly richer chemically in the surface. The soils inside the caves presented significant elevated levels of phosphorus ((Mehlich 1)) regarding the others geoenvironments, indicating the Underground Natural Cavities as hotspots of phosphorus in a geosystem dominated by the chemical poverty of the lateritic soils of the Serra dos Carajás. The recent deposition of bat guano have a significant addition of exchangeable bases as K, Na, Ca, Mg besides Cu, Mn, and Zn in soils, concentrating more nutrients in their interior, that assist in the maintenance of the ecological dynamics in Serra dos Carajás. The great content of phosphorus in cave soils also indicated bats as strong bioespeleological agents influencing by the process of phosphatization the genesis of cavities. The main minerals identified in the soils were Hamtite, Maghemite, Goethite, Anatase, Rutile, and Lepidocrocite, in addition to the presence of phosphatic minerals as Leucophosphite, Spheniscidite, Strengite, Phosphosiderite and Vermiculite, mineral 2:1, all these present only inside the Underground Natural Caves; of those minerals identified the Lepidocrocite and the phosphatic minerals were registered for the first time in the Carajás soils.

INTRODUÇÃO

Os Geossistemas Ferruginosos são caracterizados pela sua grande geodiversidade e heterogeneidade ambiental consequência de sua complexa evolução (TRENDALL & MORRIS, 1983). O Geossistema Ferruginoso da Serra dos Carajás (PA) está associado ao Grupo Grão Pará, Formação Carajás e apresenta uma constituição geológica com predominância de cangas e jaspilitos (formações ferríferas bandadas - BIF's) com assembleia de minerais de hematita, magnetita, magnetita e goethita; há cangas do tipo estruturadas, químicas e detríticas (Pereira, 2009). A região de Carajás representa um vasto ecotono entre Floresta Amazônica e Cerrado, tendo sua vegetação como um reflexo dessa transição ecológica (SCHAEFER *et al.* 2008a).

A região apresenta feições geomorfológicas compostas por platôs suaves e platôs de grande extensão, variando de 600 – 700 m em elevação. A presença de couraças ferruginosas e solos rasos nesses platôs impede a ocorrência de uma floresta densa, formando clareiras não florestadas que se destacam da vegetação florestal ao redor (TOLBERT *et al.* 1971; SCHAEFER *et al.* 2008a). Insere-se no clima tropical quente e úmido com duas estações bem marcadas, com seca de maio a outubro. A discrepância pluviométrica dessa região devido ao clima pode variar de 500 mm em fevereiro e menos de 5 mm em agosto. Apresenta o mais profundo manto de alteração alcançando mais de 500 metros localmente além da formação supergênica de depósitos minerais, especialmente de Ferro (TOLBERT *et al.* 1971; SCHAEFER *et al.* 2008a).

A ocorrência das cavernas na Serra dos Carajás é generalizada na paisagem, com cavidades na Serra Sul, Serra Norte, Serra Leste, Serra da Bocaína, Serra do Tarzan, Serra do Rabo-estrela e Canaã dos Carajás. Podem formar-se no interior dos platôs, em formações ferríferas, nas cangas e entre as cangas e as formações. Geralmente a entrada das cavernas se encontra na base das escarpas que expõem essas formações devido ao recuo erosivo, ou devido à formação de canalículos que se expandem para o teto da cavidade (PILÓ *et al.* 2015). Essas Cavidades Naturais subterrâneas apresentam uma dinâmica ecológica complexa e estão associados a uma diversidade fitofissionômica e de solos. O guano dos morcegos depositado nessas cavidades é um forte agente

bioespeleogênico pois atua no controle da estrutura das comunidades presentes nas cavernas (EMERSON *et al.* 2007; FERREIRA *et al.* 2015), embora seja pouco estudado.

Os solos da Serra dos Carajás são singulares pela presença da canga ferrífera, mas não existem estudos de solos em ambientes cavernícolas para a região. A partir desses estudos é possível realizar uma estratificação ambiental que permite a análise geoambiental da paisagem e a partir de análises físicas, químicas, morfológicas e mineralógicas o melhor entendimento da influência da caverna no ambiente de entorno. Os solos, portanto, permitem que se faça uma leitura da dinâmica ecológica da cavidade e sua influência no ambiente adjacente (RESENDE *et al.* 2007).

O objetivo desse trabalho é caracterizar os solos quanto aos seus aspectos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos, buscando compreender a transição entre os geoambientes e as Cavidades Naturais Subterrâneas e os processos pedogenéticos atuantes. As informações geradas por esse estudo poderão contribuir para a delimitação de Zona de Influência de cavernas e seu papel na dinâmica do Geossistema Ferruginoso de Carajás.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

O Geossistema Ferruginoso da Serra dos Carajás no Estado do Pará está associado ao Grupo Grão Pará, com a presença de duas principais Formações geológicas a Formação Carajás, com predominância de cangas e jaspilitos (formações ferríferas bandadas - BIF's) (PEREIRA, 2009) e a Formação Parauapebas composta principalmente por derrames basálticos (MEIRELES, 1984). A área apresenta feições geomorfológicas compostas por platôs suaves e de grande extensão variando de 600 – 700 m em altitude, a presença das couraças ferruginosas nestes platôs impede a ocorrência de uma floresta densa nas porções mais centrais formando clareiras que se destacam da vegetação florestal de borda que transaciona para a florestas densas nos vales ocupados pelas rochas máficas (TOLBERT *et al.* 1971; SCHAEFER *et al.* 2008a). A região insere-se no clima tropical quente e úmido com duas estações bem marcadas sendo a seca de maio a outubro (TOLBERT *et al.* 1971; SCHAEFER *et al.* 2008a).

Inserido nos Platôs da Serra dos Carajás ocorrem cavidades ferruginosas com alta diversidade geológica e biológica que ocupam tanto a região central do platô como sua borda. No presente trabalho foram selecionadas três cavidades ferruginosas localizadas nos platôs de N1, cavidade N1-0174; N4, cavidade N4WS-0067 (Vale da Lua); e S11D, cavidade não registrada pelo Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (Fig. 1).

Localização dos platôs de canga na FLONA de Carajás e no PARNA dos Campos Ferruginosos

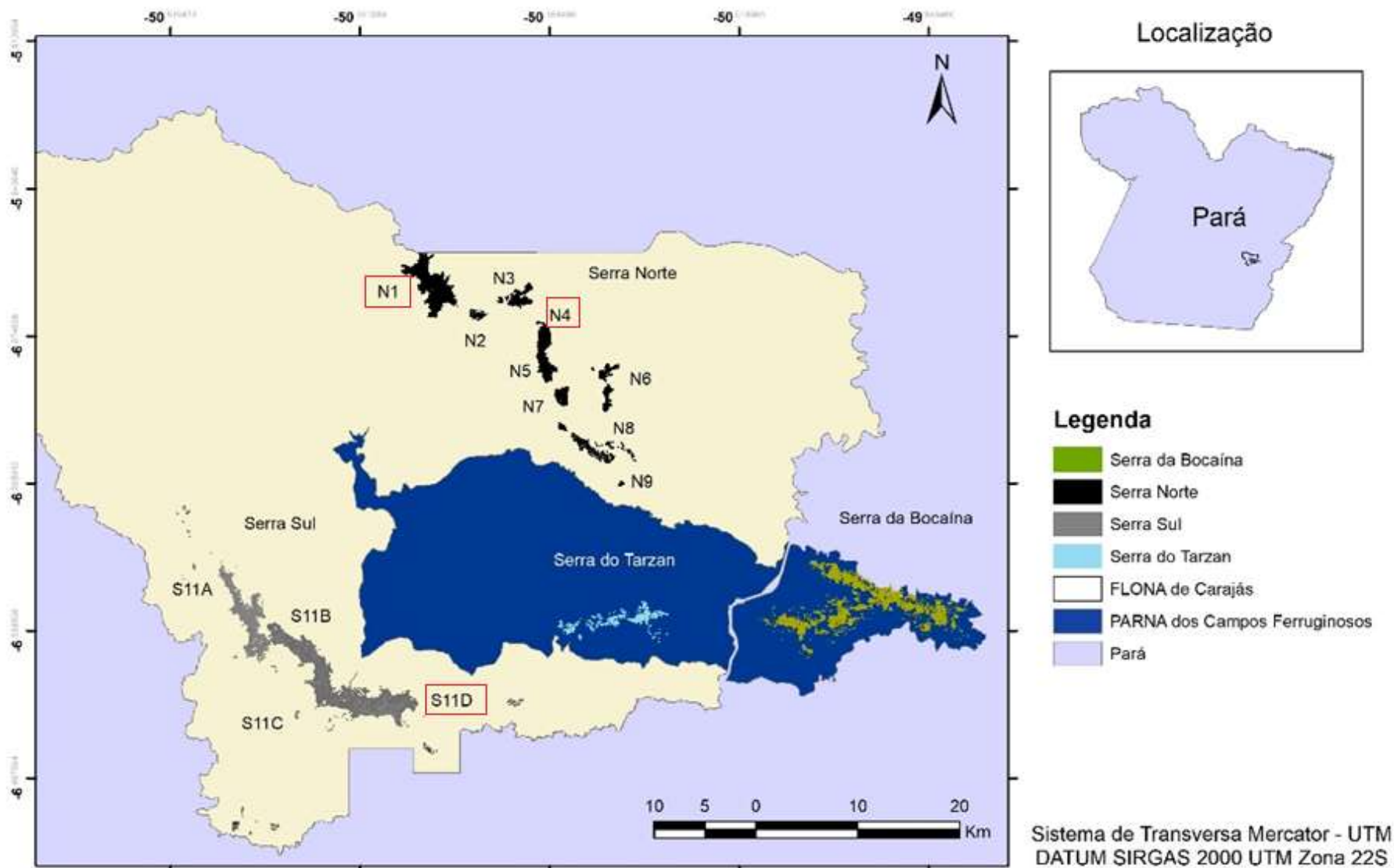


Figura 1. Localização dos platôs de canga na FLONA de Carajás. Em vermelho os Platôs onde estão localizadas as cavidades estudadas.

Caracterização Geral das Cavidades Naturais Subterrâneas

Cavidade N1-0174

Essa cavidade está localizada na borda do Platô de N1. A medida que se aproxima da entrada da caverna, que está localizada no Platô, é possível notar a transição da formação vegetacional de Campos Rupestres Ferruginosos Arbustivos para o Capão Florestal que circunda toda a entrada. A declividade da cavidade segue concordante à cornígea laterítica, sua saída se dá na seção de encosta da vertente com ocorrência de blocos de cangas caídos com mais de 20 cm de diâmetro, no geoambiente de Mata de Encosta (Fig 2).



Figura 2. Caracterização geral da cavidade. Em A, visão geral da entrada da cavidade com presença de blocos abatidos e serapilheira; B, Saída da cavidade na seção de encosta; C, visão geral do Campo Rupestre Arbustivo e ao fundo Capão Florestal; D, visão geral da Mata de Encosta.

Em relação aos aspectos litológicos, a cavidade possui um salão único, sendo planimetricamente enquadrada em um padrão retilíneo, com teto e paredes constituídos principalmente por canga detrítica (conglomerado laterítico) de hematita compacta, com blocos e matações abatidos em toda o seu interior, com predominância granulométrica de seixos e calhaus na entrada, e blocos

coluviais na saída (MAURITY & KOUTCHOUBEY, 1995; SCHERER *et al.* 2017). Na cavidade ocorre a presença de poucos canalículos, porém uma abundância de feições alveolares de dissolução e inexistência de pilares e claraboias. Os pendentes, feições com formato cônico e irregulares localizadas no teto das cavidades, são pouco desenvolvidos e formadas possivelmente a partir do solapamento de antigos pilares por ação erosiva.

Figura 3. Em A, clastos de hematita compacta cimentadas por óxido de ferro no teto da cavidade,



e B, feições estruturais alveolares no teto da cavidade.

Devido à variação climática regional a cavidade passa por períodos de seca e alagamentos. Os corpos hídricos que ocorrem no interior da cavidade foram caracterizados como de escoamento superficial temporário. Durante os períodos chuvosos a cobertura de líquens e musgos revivesce em toda cavidade, principalmente na saída, pela luz e umidade. Os principais sedimentos que ocorrem no interior da cavidade são de origem clástica ou orgânica. Os sedimentos clásticos têm origem majoritariamente autóctone, porém também possuem contribuição de material de fora da cavidade (alóctone), podendo, portanto, ser caracterizado como misto. O aporte de material orgânico da cavidade é diverso. Em sua entrada há aportes de serapilheira provinda do Capão Florestal, restos de vertebrados e invertebrados, além do guano de quirópteros, principal material orgânico depositado. As raízes são abundantes em todo o interior da cavidade e estão presentes em seu teto, paredes e solo. As raízes tendem a diminuir seu diâmetro à medida que se aprofunda na cavidade.

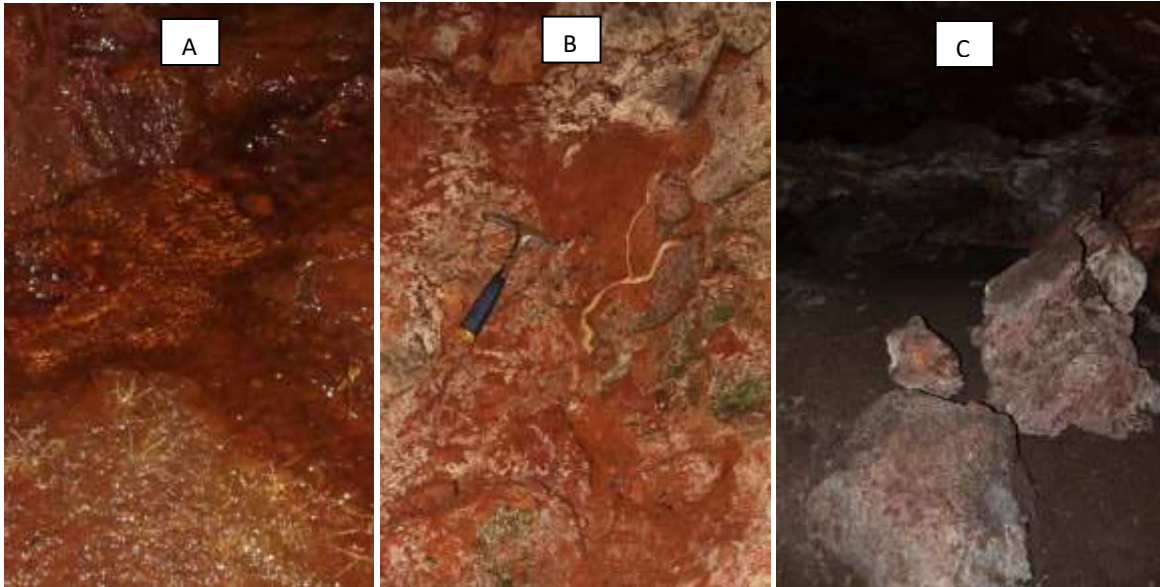


Figura 4. Em A, empoçamento perene de água com desenvolvimento de plântula à direita; B, raíz no interior da cavidade; C, deposição de guano intensa com matacões solapados do teto.

A diversidade de depósitos químicos (Espeleotemas) é relativamente alta com presença dos depósitos em forma de coralóides, crostas e escorrimentos. Os coralóides, espeleotemas globulares, nodulares, em forma de coral ou couve-flor predominam no teto da cavidade e se apresentaram em cores avermelhadas, cinza esbranquiçadas e amarronzada. Esses coralóides podem ter sido formados pela deposição química a partir da presença de delgados filmes d'água que escorrem nas fraturas e irregularidades do teto (I); por respingos e gotejamentos (II); nas bordas de estruturas alveolares e poças (III); por capilaridade (IV) ou pela água de condensação (V). Portanto estão intimamente relacionados com ambiente arejado que facilite a evaporação da água, como ocorre nesta cavidade (PILÓ & ANDRADE, 2012). As crostas que recobrem a cavidade são predominantemente ferruginosas em consequência do processo de oxi-redução do ferro e incrustação do mesmo. Também ocorrem crostas de coloração esbranquiçada, composta por sulfato de cálcio (MAURITY & KOTSCHOUBEY, 1995; PILÓ & ANDRADE, 2007). Os depósitos de escorrimento também foram registrados na cavidade, preenchendo fraturas da rocha, e com coloração branca e creme, possivelmente associados à incrustações fosfáticas (VIANA, 2016).

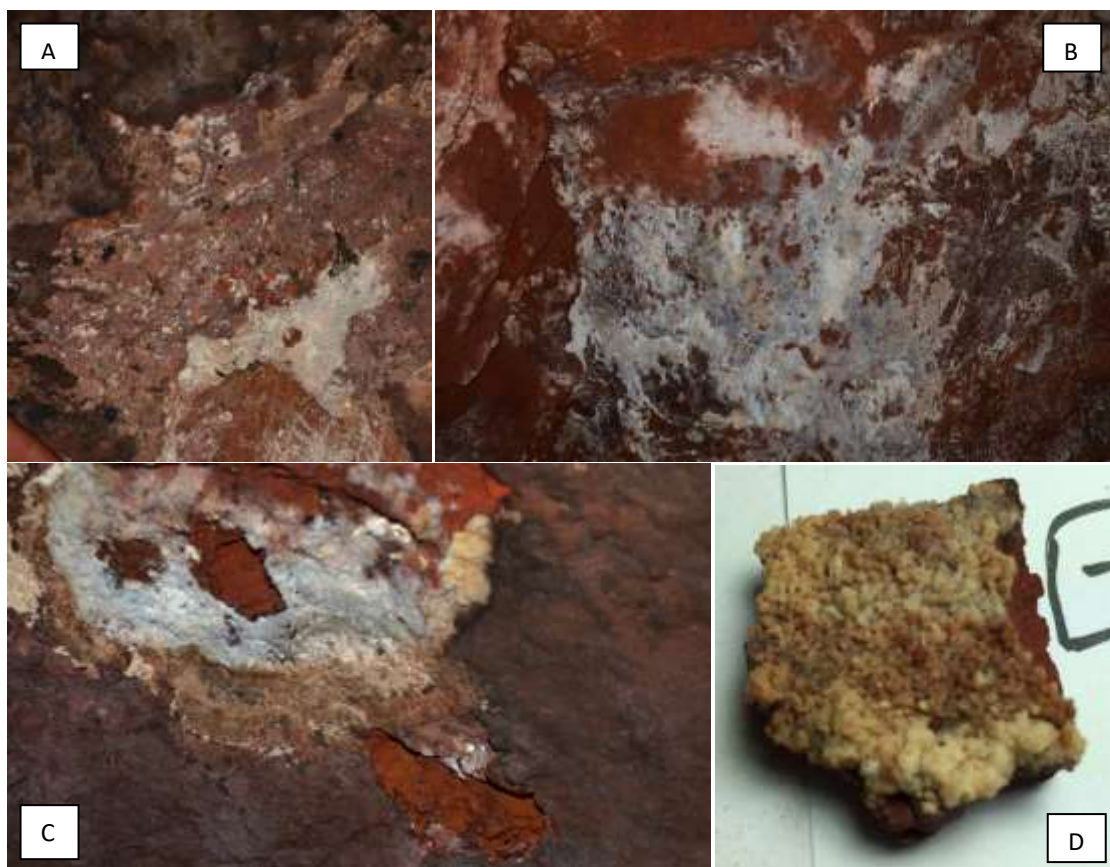


Figura 5. Em A, escurrimto fosfático; B, crosta esbranquiçada; C, local de coleta dos coraloídes com o desenvolvimento na borda do alvéolo; D, Coraloide.

Além de toda a diversidade florística, litológica e estrutural a cavidade também abrigou populações de antigos caçadores coletores, que ocuparam a região de Carajás no Holoceno inicial e médio. A ocupação datada na Gruta do Gavião variou entre 8140 e 2900 AP (SILVEIRA, 1994; MAGALHÃES, 2005; KIPNIS *et al.* 2005). O material arqueológico encontrado na Gruta do Gavião incluiu materiais líticos, indicativo de uma indústria lítica na região, e estruturas arqueológicas como fogueiras e restos de animais e vegetais, fortes evidências de ocupação da cavidade. Pela falta de um pacote mais espesso de sedimentos associados às estruturas arqueológicas, como fogueiras e fragmentos líticos, indica que as cavidades de Carajás eram utilizadas de forma episódica como acampamentos de pouca duração (KIPNIS *et al.* 2005). Apesar dessa evidência de ocupação esporádica das cavernas, análises paleoambientais associadas aos estudos arqueológicos s levam a crer que esses grupos habitaram a região de Carajás em períodos tanto mais úmidos e mais secos nos últimos 10.000 anos (SIFEDDINE *et al.* 2001; KIPNIS *et al.* 2005). Uma prospecção realizada pelo Projeto de Arqueologia Preventiva apoiado pela Companhia da Vale do Rio

doce indicou que de 107 cavidades, 75,7 % destas, ou seja, 81 cavidades, apresentaram condições para escavação arqueológicas com indicativos de presença de sedimentos e área habitável (KIPNIS *et al.* 2005). Esse alto número de cavidades potencialmente habitadas, destaca a importância da região de Carajás nos estudos arqueológicos, e seu potencial para a melhor compreensão do histórico e padrão de ocupação e migração de caçadores coletores na região Amazônica.

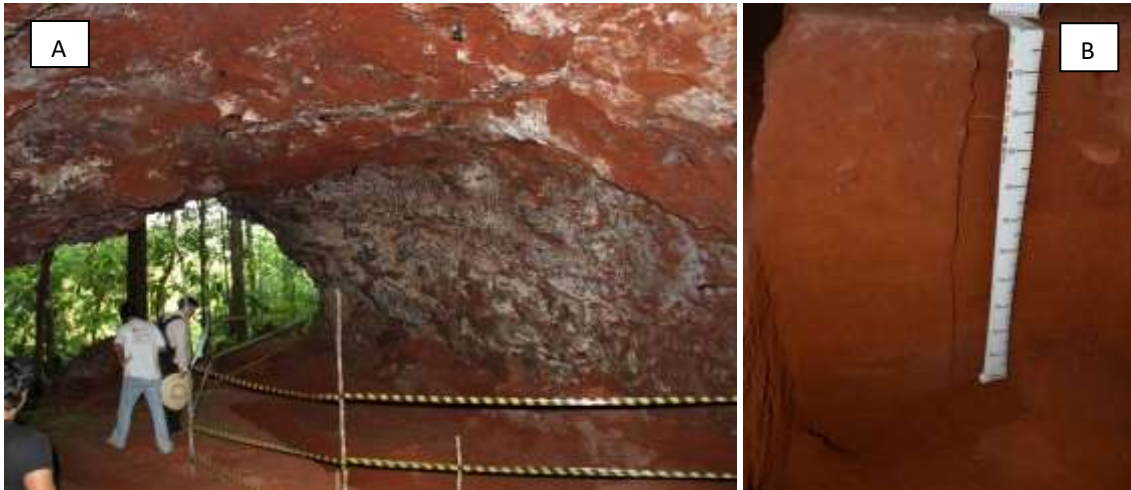


Figura 6. Em A, visão geral do Sítio Arqueológico na saída da Caverna, e em B, Perfil da escavação com mais de 100 cm de profundidade.

Cavidade N4WS-0067 (Cavidade do Vale da Lua)

A cavidade está localizada na região intermediária entre a borda e a região central, ao sudoeste do Platô de N4. A entrada da caverna está situada em uma pequena vertente localizada no centro do platô, a declividade é acentuada com presença de blocos caídos e transportados por ação da água. A entrada é circundada por uma vegetação de Capão Florestal. Acima da cavidade há a presença de uma entrada alternativa representada pela claraboia, nesse local predomina a presença de Campos Rupestres Ferruginosos Arbustivos (Fig. 7).



Figura 7. Em A, entrada da cavidade com vista para o Capão Florestal; em B, Campo Rupestre Arbustivo próximo à claraboia; C, Capão Florestal; e D, Claraboia.

A cavidade é formada por fragmentos de canga de aspecto brechóide composto por fragmentos angulosos de jaspilite e estão fortemente envolvidos por material fosfático, a caverna tem sua parede edificada pelo próprio jaspilite (Formação Ferruginosa Bandada) (ALBURQUERQUE *et al.* 2017). A cavidade segue concordante ao acamamento do jaspilite, possui vários salões distribuídos de forma irregular sendo enquadrada planimetricamente como padrão esponjiforme, com câmaras compostas, constituídas por mais de um compartimento (SCHERER *et al.* 2017). As feições morfológicas observadas nessa cavidade foram as mais diversas entre as cavernas estudadas e incluíram canalículos, alvéolos, forma de dissolução semelhante aos alvéolos pulmonares, marmitas, estruturas formadas pela convolução da água sobre a rocha,

caneluras, pendentes, pilares que alcançam mais de 2 metros e claraboias (Fig 8).

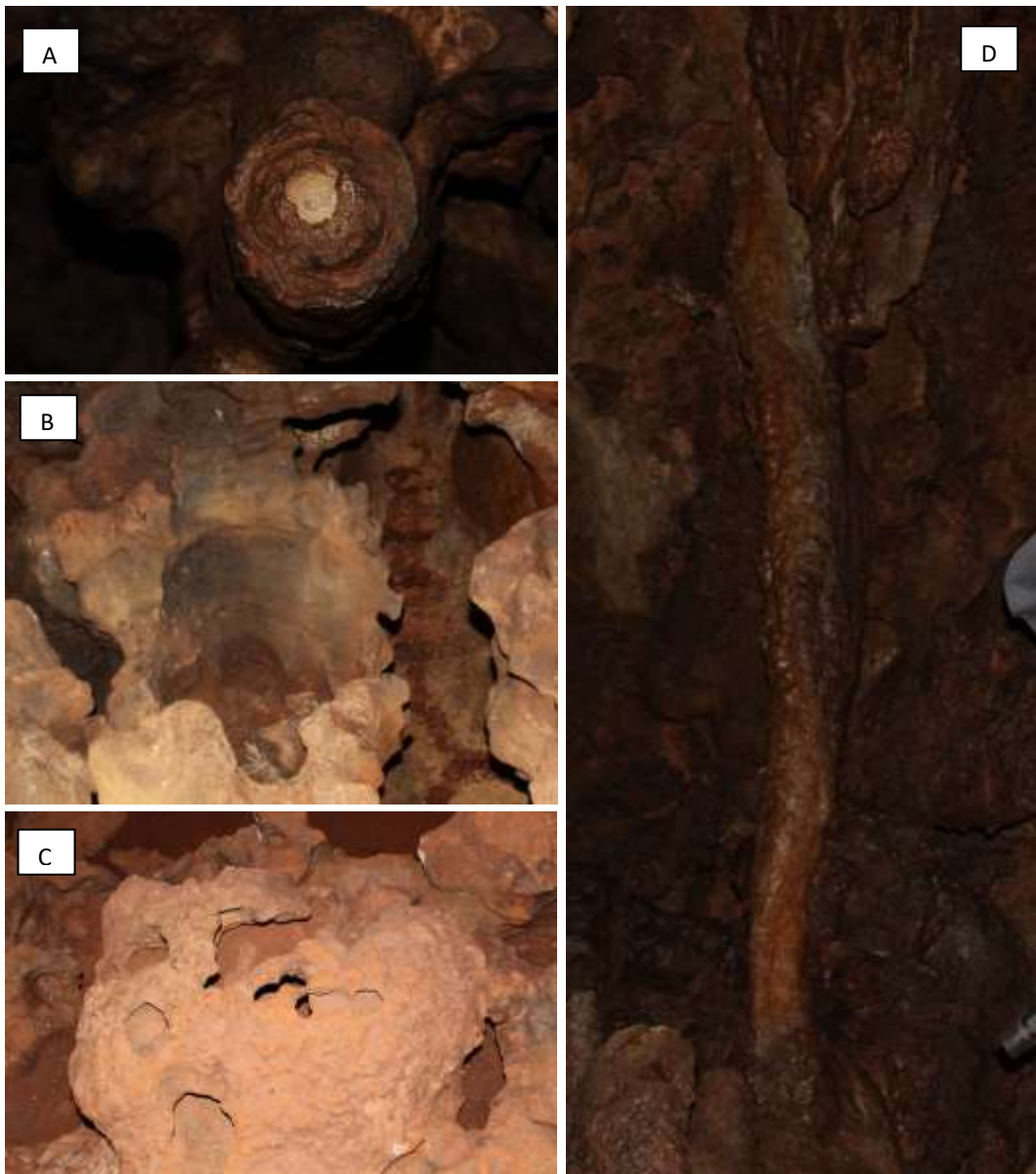


Figura 8. Em A, canalículo no interior de uma estalagmite neoformada; B, Marmitas com estrias de convolução; C, alvéolos; e D, pilar.

Os corpos hídricos da cavidade incluem ambientes de alagamento permanente, porém com escoamento superficial temporário restrito aos períodos chuvosos, sendo o fluxo da água concordante ao acamamento do jaspilito. As poças se estabelecem nos alvéolos e em marmitas no chão da cavidade e possuem pH extremamente baixo (2,38 a 3,65). A caverna não apresenta um fluxo de ar contínuo, com umidade elevada em seu interior, sendo possível observar a presença de musgos apenas em sua entrada. Os sedimentos são de

origem mista (autóctone e alóctone) sendo os principais de origem orgânica, com baixa contribuição de material clástico proveniente do teto. O material orgânico depositado é, assim como na cavidade N1-0174, majoritariamente composto por guano de quirópteros. A presença de raízes também ocorre em todo o interior da cavidade em diâmetros variados, algumas com mais de 10 cm de diâmetro e atingem a cavidade até mesmo a partir das claraboias. A luminosidade é restrita à entrada da cavidade (Fig 9).



Figura 9. Em A, alagamento em alvéolo; e B, raízes com diâmetro superior à 10 cm entrando na cavidade pela claraboia.

A diversidade de Espeleotemas encontrados na cavidade foi a maior dentre as cavernas estudadas e estão todos sobre intenso efeito do processo de fosfatização. Foram observados depósitos químicos em forma de pingentes, estalagmites, estalactites, crostas e escorrimentos; coralóides não foram observados nessa cavidade (Fig. 10). Os pingentes foram observados principalmente na transição entre salões e sempre associados ao gotejamento de água o que indica que estão sendo formados ativamente. As estalagmites e estalactites que ocorrem nessa cavidade são enquadrados como depósitos químicos raros e só foram registrados em algumas cavernas em Carajás. São constituídas quase que exclusivamente por fosfatos (PILÓ *et al.* 2018). As estalagmites ocorrem em diversas formas, principalmente com aspecto globular, de “esponjas marinhas”, com uma abertura circular em seu ápice. As estalactites se apresentam com formato pontiagudo e com mais de 1 metro de comprimento em salões de dimensões variadas. As estalactites de maior porte localizadas nos salões maiores tendem com o tempo a sofrer ruptura em sua base e no contato com o teto, devido ao seu peso, e caem no chão da cavidade; nos salões menores alcançam próximas do chão indicando que a gênese dos pilares nessa

cavidade está diretamente relacionada com união entre estalagmites e estalactites. As crostas que predominam na cavidade são as fosfo-alumino-ferrosas com coloração bruno-amarelada e de aspecto leitoso (VIANA, 2016; PILÓ *et al.* 2018). Os depósitos de escorrimento identificados foram principalmente os microtravertinos muitas vezes associados aos pingentes.



Figura 10. Em A, pingente ativo com gotejamento de água; B, estalactites do maior salão da cavidade; C, estalagmite em forma de “esponja marinha” com abertura em seu ápice; e D, microtravertinos associados a pingentes na parede da cavidade.

Cavidade S11D

A cavidade está localizada no topo, na porção central do Platô de S11D entre a Lagoa do Violão e a Mina do Projeto Ferro S11D VALE. A entrada da cavidade assim como a cavidade em N1 e N4 está circundada pelo Capão Florestal que traciona para Campo Rupestre Aberto de *Vellozia glauca*; também ocorre acima da cavidade o geoambiente de Campo Rupestre Arbustivo. Essa cavidade difere das demais por apresentar entrada única sem a presença de claraboias. Aparentemente a cavidade se desenvolveu a partir da dissolução preferencial na fratura dos corpos lateríticos do platô, fato reforçado pela presença de vários lagos na superfície do platô da Serra Sul (Fig. 11).



Figura 11. Em A, entrada da cavidade com depósito de serapilheira; em B, Campo Rupestre Aberto com *Vellozia glauca*; C, Capão Florestal; e D, Campo Rupestre Arbustivo.

A cavidade possui dois salões, sendo o segundo de difícil acesso com passagem estreita. Planimetricamente a cavidade foi caracterizada como retilínea, com teto e paredes formados principalmente por Canga detritica com presença de clastos de hematita compacta cimentados por óxidos de ferro. As feições morfológicas identificadas foram menos diversas que as demais cavernas e incluíram pendentes e alvéolos, mas não foram observados canalículos, pilares ou claraboias. A cavidade tem empocoamento apenas no

segundo salão onde escoamento superficial é temporário. A cavidade assim como em N4WS-0067 não apresenta fluxo de ar contínuo com presença de poucos musgos apenas na entrada da cavidade. Os sedimentos depositados são mistos e incluem sedimento argiloso provindo dos horizontes A dos solos dos capões florestais e clastos abatidos e transportados de forma coluvial e eluvial. Os sedimentos de origem orgânica observados na cavidade incluíram ossadas de animais, serrapilheira e guano. Devido a proximidade com a mina, a caverna não estava mais habitada por quirópteros, não sendo possível observar deposição de guano. Isso ocorreu possivelmente devido às recorrentes explosões durante o processo de extração do minério de ferro. A presença de raízes é também abundante em todo o seu interior e alcançam mais de 1 metro de profundidade.

A diversidade de depósitos químicos foi baixa em relação às demais cavernas. Predominou crostas de origem ferruginosa e esbranquiçadas. Não foram observados pingentes, coraloides, e depósitos de escorrimento. Cabe ressaltar que a atividade de térmitas nessa cavidade foi observada a partir da presença de canais localizados nas paredes e teto.



Figura 12. Em A, visão geral do primeiro salão, ao fundo entrada para o segundo salão; B, clastos de canga detrítica no teto da cavidade com recobrimento de musgos; C, crosta de coloração branca; D, em amarronzado canais de térmitas no teto.

Coleta, Descrição e Classificação dos Perfis de Solo

Foram coletados e descritos horizontes de perfis de solos a partir da abertura de microtrincheiras no interior das cavidades e nos seus geoambientes associados. Foram estudadas três cavidades, localizadas nos platôs de N1, cavidade N1-0174; N4, cavidade N4WS-0067 (Vale da Lua); S11D, cavidade não registrada pelo Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas. A coleta se deu em toposequência de fora para dentro das cavidades, incluindo a transição entre fitofisionomias associadas a cada caverna. Os perfis foram descritos de acordo SANTOS *et al.* (2015) e classificados até o quarto nível categórico conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013) (Anexo). A abundância de raízes e seu diâmetro foi estimado visualmente em campo e o magnetismo foi avaliado em campo a partir do uso do imã.

Análises Químicas e Físicas

As amostras de cada horizonte coletadas foram secas ao ar, posteriormente destorroadas e peneiradas em peneira de 2 mm de abertura de malha para a obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA), este material foi submetido a análises de acordo com os métodos descritos no manual de métodos e análises de solo (EMBRAPA, 1997).

As análises físicas realizadas foram a separação das frações granulométricas do solo e a porcentagem de concreções. A análise textural foi realizada por peneiramento e método da pipeta, porém, com utilização de agitação lenta (50 rpm) por 16 horas (RUIZ, 2005a) e determinação do silte por pipetagem (RUIZ, 2005b), e não por diferença. A partir dos resultados da análise granulométrica os horizontes foram enquadrados em suas respectivas classes texturais. A porcentagem de concreções foi obtida através da mensuração do peso total (TFSA + Concreções) de cada horizonte e peso da TFSA e concreções separadamente (Anexo I). A estrutura do solo foi descrita de acordo com seu tipo, classe e grau; sua consistência, quando molhada, de acordo com sua plasticidade e pegajosidade, ambas aferidas por método direto. A coloração dos horizontes dos solos secos foi obtida a partir do uso da Carta de Munsell (MUNSELL, 1994).

A composição química da TFSA foi determinada, pelos os teores de sódio (Na), saturação de sódio (ISNa), pH em H₂O e KCl, Fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), teor de alumínio (Al), acidez potencial (H + Al), teor de matéria orgânica (M.O), Saturação de Bases Trocáveis (V), Capacidade de Troca Catiônica Efetiva (t), Capacidade de troca catiônica a pH = 7,0 (T), Fósforo remanescente (P-rem), Cobre (Cu), Manganês (Mn), Ferro (Fe), Zinco (Zn) e metais pesados, Cromo (Cr), Níquel (Ni), Cádmio (Cd) e Chumbo (Pb).

O pH foi determinado em água e em solução de KCl 1 mol L⁻¹ em suspensão solo/solução na proporção 1:2,5. Os cátions trocáveis foram extraídos por KCl 1 mol L⁻¹ e quantificados por espectrometria de absorção atômica (Ca²⁺ e Mg²⁺) e por titulometria com NaOH (Al³⁺). O Na⁺, extraído com solução de acetato de amônio 1,0 mol L⁻¹ a pH 7,0, foi quantificado por fotometria de chama. A acidez potencial (H⁺ + Al³⁺) foi extraída por acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0 e será quantificada por titulometria com NaOH. P disponível e K⁺ trocável serão extraídos pelo Mehlich-1, com P quantificado pelo método do ácido ascórbico, como descrito por KUO (1996), e K⁺ determinado por fotometria de chama. Os micronutrientes Cu²⁺, Zn²⁺, Fe²⁺ e Mn²⁺ disponíveis serão extraídos pelo extrator Mehlich-1 e determinados por absorção atômica. O teor de matéria orgânica (MO) será estimado após a determinação do C orgânico pelo método Walkley Black, sem aquecimento e, por fim, o nitrogênio total (NT) será estimado através do método Kjeldahl. O Fósforo remanescente (P-rem) em cloreto de cálcio 0,01 mol L⁻¹ com concentração inicial de 60 mg L⁻¹ de P será determinado segundo DE FILIPPO & RIBEIRO (1997). Os teores de metais pesados foram determinados a partir do uso do extrator Mehlich-1.

Analises estatísticas

Foram utilizadas análises estatísticas multidimensionais exploratórias a fim de diferenciar o conjunto de unidades (variáveis) de cada solo coletado. A primeira análise multivariada foi a Análise de componentes principais (PCA), visando observar se o conjunto de variáveis dos solos associados ao ambiente cavernícola poderiam ser “resumidos” em um único número ou ponto, permitindo dessa forma uma análise exploratória dos solos coletados. Para avaliar as variações físicas e químicas dos solos em profundidade fez-se o cálculo da mediana dos valores, que foram plotados em gráficos de profundidade.

A segunda análise utilizada foi uma análise de cluster, que permite diferenciar determinados sub-grupos de solos, inferindo a similaridade entre eles. Essa análise é feita a partir do uso do dendograma, onde a partir do conjunto de dados gerados foi possível analisar a proximidade entre os perfis de solo estudados. Todas as estatísticas foram rodadas no programa R v.1.1.463.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados das análises químicas e físicas dos horizontes coletados, os perfis de solos das 3 cavidades estudadas foram classificados e descritos. Os resultados foram organizados na seguinte sequência: atributos químicos e físicos de cada cavidade, N1-0174 (Tabela 1, 2 e 3), N4WS-0067 (Vale da Lua), e cavidade S11D; descrição de todos perfis em mesma sequência.

Tabela 1. Características morfológicas dos horizontes, no Platô de N1, cavidade **N1-0174**.

Horiz.	Prof.	Cor Úmida	Estrutura ⁽¹⁾	Concreções ⁽²⁾	Consistência (molhada) ⁽³⁾	A. Grossa	A. Fina	Silte	Argila	Silte/Argila	Classificação
	cm	Munsell	Tipo, Classe, Grau	%	Plasticidade e Pegajosidade	----- % -----					
P1 – NEOSSOLO LITÓLICO Hístico típico – Acima da borda da boca da caverna no Capão Florestal.											
Ac	0-10	7,5YR 2.5/2	G, P, F	37	NPI e NPe	51.4	4.9	16.5	27.2	0,61	Franco-Argilo-Arenosa
P2 – PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário cambissólico – Topo aplainado com Capão Florestal próximo à entrada da cavidade.											
Ac	0-21	10R 2.5/2	G, P, FR	29	NPI e NPe	39.1	6.2	26.3	28.4	0,93	Franco-Argilo-Arenosa
BAC	21-27	10R 2.5/1	G, P, F	65	NPI e NPe	33.6	8.5	28	29.8	0,94	Franco-Argilosa
Bic	27-45	2.5YR 2.5/2	G, P, F	73	NPI e NPe	38.3	5	28.6	28.1	1,02	Franco-Argilosa
P3 – PLINTOSSOLO PÉTRICO Litoplúntico típico – Interior da cavidade, alta deposição de guano de quirópteros.											
A	0-2	5YR 3/1	G, MP, GS	12	PI e LPe	21.8	7	38.3	32.9	1,16	Franco-Argilosa
Bch	2-17	5YR 5/1	G, P, F	38	MPI e MPe	27.6	10.4	25.8	36.3	0,71	Franco-Argilosa
P4 - PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário cambissólico – Interior da cavidade. Paralelo ao P3.											
Ac*	0-3	5YR 5/6	G, P, F	10	NPI e NPe	34.6	6	17.3	42	0,41	Argila
Bic1	3-25	10R 3/3	G, P, F	28	NPI e NPe	39.2	16	16.2	28.6	0,57	Franco-Argilo-Arenosa
Bic2	25-40	2.5YR 4/6	G, P, F	57	LPI e Pe	14.8	6.3	41	37.9	1,08	Franco-Argilosa
P5 - NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico fragmentário, interior da cavidade											
Ac	0-2	2.5YR 4/4	G, P, F	20	NPI e LPe	30.9	6.7	27.6	34.9	0,79	Franco-Argilosa

*Crosta fosfática capeando nódulos concrecionários.

**Estimado visualmente.

⁽¹⁾ Tipo (BA – Blocos Angulares, BS – Blocos Subangulares, G – Granular,), Tamanho (MP – Muito pequena, P – Pequena, ME – Média, G - Grande), Grau (GS – Grão Simples, FR – Fraca, M – Moderada, F – Forte).

⁽²⁾ Quantificado pelo peso da TFSA e concreções de cada horizonte (Vide Anexo).

⁽³⁾ Plasticidade (NPI – Não Plástica, LPI – Ligeiramente Plástica, PI – Plástica, MPI – Muito Plástica) e Pegajosidade (NPe – Não Pegajoso, LPe – Ligeiramente Pegajoso, Pe – Pegajoso, MPe – Muito Pegajoso).

Horiz.	Prof.	Cor Úmida	Estrutura ⁽¹⁾	Concreções ⁽²⁾	Consistência (molhada) ⁽³⁾	A. Grossa	A. Fina	Silte	Argila	Silte/Argila	Classificação
	cm	Munsell	Tipo, Classe, Grau	%	Plasticidade e Pegajosidade	----- % -----					
P6 – PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário latossólico, Antrópico – Sítio Arqueológico interior da cavidade.											
Ac1*	0-2	2.5YR 3/6	G, P e MP, F	20	NPI e NPe	28.9	12.1	28.7	30.3	0,95	Franco-Argilosa
Ac2	2–21	2.5YR 3/6	G, P e MP, F	30**	LPI e LPe	12.6	4.7	28.4	54.4	0,52	Argila
Bic	20-50	5YR 4/6	G, P e MP, F	14	LPI e LPe	5.8	3.4	27.5	63.4	0,43	Muito Argilosa
Bwc	50-100	10R 3/6	G, P e MP, F	53	PI e Pe	29.3	14	28.8	27.8	1,04	Franco-Argilosa
BF*	100 – 120 ⁺	5YR 4/6	G, P e MP, F	70**	MPI e MPe	16.1	5.2	31.4	47.2	0,67	Argila
P7 – PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário latossólico, Antrópico – Sítio Arqueológico lateral da cavidade.											
Ac1*	0-2	10R 3/4	G, P e MP, F	53	PI e LPe	11.5	4.7	25.5	58.2	0,44	Argila
Ac2	2–18	2.5YR 4/6	G, P e MP, F	34	PI e Pe	11.7	4.8	29.9	53.6	0,56	Argila
Bwc1	18-42	2.5YR 3/6	G, P e MP, F	24	MPI e MPe	23.1	4.7	22.5	49.6	0,45	Argila
Bwc2*	42-80+	2.5YR 3/6	G, P e MP, F	18	NPI e NPe	17.6	3.1	21.1	58.2	0,36	Argila
P8 – PLINTOSSOLO PÉTRICO Litoplíntico típico, A enterrado – Abertura da cavidade, Encosta com Floresta Ombrófila Aberta.											
Bwc	0-42	2.5YR 3/6	BS e G, MP e P, M e F	20**	NPI e NPe	40.3	10.3	21.6	27.8	0,78	Franco-Argilo-Arenosa
Acb	42–65	2.5YR 2.5/3	G, MP, F	22	NPI e NPe	17.8	5.8	22.8	53.6	0,43	Argila
Bc	65-80 ⁺	10R 3/4	G, MP, F	47	NPI e NPe	31.1	4.9	37.1	26.9	1,38	Franca

*Crosta fosfática capeando nódulos concrecionários.

**Estimado visualmente.

⁽¹⁾ Tipo (BA – Blocos Angulares, BS – Blocos Subangulares, G – Granular,), Tamanho (MP – Muito pequena, P – Pequena, ME – Média, G - Grande), Grau (GS – Grão Simples, FR – Fraca, M – Moderada, F – Forte).

⁽²⁾ Quantificado pelo peso da TFSA e concreções de cada horizonte (Vide Anexo).

⁽³⁾ Plasticidade (NPI – Não Plástica, LPI – Ligeiramente Plástica, PI – Plástica, MPI – Muito Plástica) e Pegajosidade (NPe – Não Pegajoso, LPe – Ligeiramente Pegajoso, Pe – Pegajoso, MPe – Muito Pegajoso).

Horiz.	Prof.	Cor Úmida	Estrutura ⁽¹⁾	Concreções ⁽²⁾	Consistência (molhada) ⁽³⁾	A. Grossa	A. Fina	Silte	Argila	Silte/Argila	Classificação
	cm	Munsell	Tipo, Classe, Grau	%	Plasticidade e Pegajosidade	----- % -----					
P9 – NEOSSOLO LITÓLICO Hístico típico - Interior da cavidade, alta deposição de guano de quirópteros.											
Ac	0-15	5YR 3/4	G, MP e P, F	33	NPI e NPe	29.2	4.6	27.7	38.4	0,72	Franco-Argilosa
BFch	15–28	2.5YR 4/8	BS, ME, FR	39	NPI e NPe	27.3	4.8	28.7	39.3	0,73	Franco-Argilosa
P10 – PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário cambissólico – Topo aplainado com Capão Florestal centro do Capão.											
Ac	0-26	2.5YR 3/3	G, MP e P, F	56	NPI e NPe	28.5	6.1	38.1	27.4	1,39	Franco-Argilosa
BAC	26–35	2.5YR 2.5/3	G, MP e P, F	70	NPI e NPe	20.2	5.4	35.3	39.2	0,90	Franco-Argilosa
Bic	35-50*	2.5YR 2.5/3	G, MP e P, F	70	NPI e NPe	25.4	3.3	28.7	42.7	0,67	Argila
P11 – PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário cambissólico – Topo aplainado com Capão Florestal final do Capão.											
Ac	0-23	10R 3/2	G, MP, F	30	NPI e NPe	40.9	2.2	17.7	39.2	0,45	Franco-Argilosa
BAC	23–37	2.5YR 2.5/3	G, MP, F	36	NPI e NPe	15.6	2.9	31.7	49.7	0,64	Argila
Bic	37-60*	2.5YR 2.5/3	G, MP, F	65	NPI e NPe	12.2	2.3	31.6	53.9	0,59	Argila
P12 – NEOSSOLO LITÓLICO Hístico típico – Topo aplainado com Campo Rupestre Arbustivo.											
Ac	0-18	2.5YR 2.5/3	G, P e MP, F	68	NPI e NPe	12.9	2.7	33.9	50.5	0,67	Argila
P13 – PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário cambissólico – Centro da Encosta com Floresta Ombrófila Aberta.											
Ac	0-21	2.5YR 3/4	G, P e MP, F	37	NPI e NPe	17.1	3.4	38.7	40.8	0,95	Argila
BAC	21–42	2.5YR 2.5/4	G, P e MP, F	69	NPI e NPe	13.8	3.4	33.6	49.2	0,68	Argila
Bic	42-80*	2.5YR 3/6	G, P e MP, F	63	NPI e NPe	11.6	2.7	38.4	47.3	0,81	Argila

Consistência Δ

*Crosta fosfática capeando nódulos concrecionários.

**Estimado visualmente.

⁽¹⁾ Tipo (BA – Blocos Angulares, BS – Blocos Subangulares, G – Granular,), Tamanho (MP – Muito pequena, P – Pequena, ME – Média, G – Grande), Grau (GS – Grão Simples, FR – Fraca, M – Moderada, F – Forte).

⁽²⁾ Quantificado pelo peso da TFSA e concreções de cada horizonte (Vide Anexo).

⁽³⁾ Plasticidade (NPI – Não Plástica, LPI – Ligeiramente Plástica, PI – Plástica, MPI – Muito Plástica) e Pegajosidade (NPe – Não Pegajoso, LPe – Ligeiramente Pegajoso, Pe – Pegajoso, MPe – Muito Pegajoso).

cm	Munsell	Tipo, Classe, Grau	%	Plasticidade e Pegajosidade	----- % -----						
P14 - PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico petroplúntico, B textural – Último perfil da Encosta com Floresta Ombrófila Aberta.											
Ac	0-17	2.5YR 2.5/3	G, MP, F	14	NPI e NPe	14.8	2.4	45.1	37.6	1,20	Franco-Argilo-Siltosa
BtAc	17-32	2.5YR 2.5/4	G, MP, F	36	MPI e MPe	7.6	3	24	65.3	0,37	Muito Argilosa
Btwc1	32-57	2.5YR 3/6	G, MP, F	28	MPI e MPe	2.8	3.6	31.9	61.7	0,52	Muito Argilosa
Bwc2	57-90*	10R 3/6	G, MP, F	58	LPI e LPe	8.8	3.5	32.4	55.3	0,59	Argila

*Crosta fosfática capeando nódulos concrecionários.

**Estimado visualmente.

⁽¹⁾ Tipo (BA – Blocos Angulares, BS – Blocos Subangulares, G – Granular,), Tamanho (MP – Muito pequena, P – Pequena, ME – Média, G - Grande), Grau (GS – Grão Simples, FR – Fraca, M – Moderada, F – Forte).

⁽²⁾ Quantificado pelo peso da TFSA e concreções de cada horizonte (Vide Anexo).

⁽³⁾ Plasticidade (NPI – Não Plástica, LPI – Ligeiramente Plástica, PI – Plástica, MPI – Muito Plástica) e Pegajosidade (NPe – Não Pegajoso, LPe – Ligeiramente Pegajoso, Pe – Pegajoso, MPe – Muito Pegajoso).

Tabela 2. Atributos químicos dos solos, divisão dos horizontes e classe de solo no Platô de N1 na cavidade **N1-0174**.

Horiz	Prof. cm	pH H ₂ O	pH KCl	ΔpH	P mg/d m ³	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V	m	ISNa	COT	N dag/kg	P- Rem mg/L	Cu	Mn	Fe	Zn	
											-----cmol _c /dm ³ -----					-----%-----									
P1 – NEOSSOLO LITÓLICO Hístico típico – Acima da borda da boca da caverna no Capão Florestal.																									
Ac	0-10	3.59	3.14	-0.45	9.2	260	36.0	0.16	0.30	8.06	60.5	1.28	9.34	61.78	2.1	86.3	0.25	19.67	1.75	33.90	1.70	5.4	666.2	4.12	
F	100*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
P2 – PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário cambissólico – Topo aplainado com Capão Florestal próximo à entrada da cavidade.																									
Ac	0-21	4.50	3.77	-0.73	5.6	88	52.0	0.08	0.15	2.88	23.6	0.68	3.56	24.28	2.8	80.9	0.93	8.38	0,443	14.44	2.53	3.9	298.2	1.61	
BAC	21-27	4.55	4.00	-0.55	4.2	62	32.0	0.06	0.10	1.92	19.6	0.46	2.38	20.06	2.3	80.7	0.69	7.65	0,390	13.18	1.89	2.7	163.7	1.16	
Bic	27-45	4.69	4.17	-0.52	3.4	48	24.0	0.04	0.09	1.54	16.2	0.36	1.90	16.56	2.2	81.1	0.63	6.01	0,365	10.36	2.16	2.5	117.0	0.87	
F	45*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
P3 – PLINTOSSOLO PÉTRICO Litoplântico típico – Piscina de guano no interior da cavidade.																									
A	0-2	3.90	3.89	-0.01	2.448,6	6.000,0	1.440,0	11.60	17.78	1.54	47.4	51.03	52.57	98.43	51.8	2.9	6.36	17.49	5.43	30.13	2.77	161.9	42.4	394.00	
Bch	2-17	3.82	3.74	-0.08	894,9	4.2	920,0	2.60	7.56	0.96	33.7	24.93	25.89	58.63	42.5	3.7	6.82	7.84	3.46	13.50	2.51	98.3	29.8	206.80	
F	17*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
P4 - PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário cambissólico – Interior da cavidade, associado à guano de insetívoros.																									
Ac*	0-3	3.17	3.40	0.23	223.8	38	28.0	0.05	0.08	1.34	31.0	0.35	1.69	31.35	1.1	79.3	0.39	5.17	0,772	8.91	5.65	3.0	1.411.4	2.16	
Bic1	3-25	3.77	3.30	-0.47	134.0	16	2.0	0.09	0.02	1.25	33.3	0.16	1.41	33.46	0.5	88.7	0.03	2.70	0,205	6.1	4.89	1.8	860.6	0.62	
Bic2	25-40	3.92	3.38	-0.54	81.2	6	0.0	0.02	0.01	0.77	20.1	0.05	0.82	20.15	0.2	93.9	0.00	1.60	0,097	12.1	4.43	0.7	534.8	0.70	
F	40*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

*crosta fosfática capeando nódulos concrecionários.

Horiz	Prof. cm	pH H ₂ O	pH KCl	ΔpH	P mg/d m ³	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V	m	ISNa	COT	N dag/kg	P-Rem mg/L	Cu	Mn	Fe	Zn
P5 - NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico fragmentário, interior da cavidade																								
Ac*	0-2	3.75	3.66	-0.09	247.1	8	0.0	0.05	0.02	1.15	17.1	0.09	1.24	17.19	0.5	92.7	0.00	1.82	0,114	20.5	4.18	1.1	152.5	0.35
P6 – PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário latossólico, Antrópico – Sítio Arqueológico interior da cavidade.																								
Ac1*	0-2	3.52	3.7	0.18	477.2	36	2	0.04	0.05	1.44	22.7	0.19	1.63	22.89	0.8	88.3	0.04	4.52	0,394	16.7	6.77	3.1	242.8	1.2
Ac2	2–21	3.77	3.98	0.21	163.5	0	0	0	0.01	0.88	12.5	0.01	0.89	12.51	0.1	98.9	0	1.89	0,074	13	2.86	1.6	48.9	0.41
Bic	20-50	3.85	4.62	0.77	162.5	0	0	0.04	0.01	0.19	8.6	0.05	0.24	8.65	0.6	79.2	0	1.39	0,070	9.6	1.84	1.2	23.7	0.47
Bwc	50-100	4.02	4.82	0.80	67.1	20	0	0	0	0.29	8.1	0.05	0.34	8.15	0.6	85.3	0	1.53	0,070	3.5	2.3	1	25.4	1.17
BF*	100 – 120+	4.42	5.12	0.70	65.3	0	0	0	0.01	0	4	0.01	0.01	4.01	0.2	0	0	0.38	0,031	10.6	1.11	0.6	23.2	0.75
P7 – PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário latossólico, Antrópico – Sítio Arqueológico lateral da cavidade.																								
Ac1*	0-2	3.39	3.83	0.44	242.5	24	233	0.06	0.15	8.17	20.9	1.28	9.45	22.18	5.8	86.5	4.57	3.03	0,398	11.3	2.21	1.1	17.4	1.19
Ac2	2–18	4.07	4.22	0.15	122.8	1	51.2	0	0.02	0.97	11.6	0.25	1.22	11.85	2.1	79.5	1.88	1.89	0,101	8.5	1.73	0.5	38.2	0.33
Bwc1	18-42	4.54	4.71	0.17	71.6	0	0	0	0.01	0.19	6.9	0.01	0.2	6.91	0.1	95	0	0.91	0,057	7.4	1.32	0.7	26.2	0.37
Bwc2*	42-80+	4.35	4.75	0.40	66.4	0	0	0	0	0.19	6.7	0	0.19	6.7	0	100	0	0.91	0,049	9.9	1.48	1	34.9	0.37
P8 – PLINTOSSOLO PÉTRICO Litoplíntico típico, A enterrado – Abertura da cavidade, Encosta com Floresta Ombrófila Aberta.																								
Bwc	0-42	4.42	4.5	0.08	79.3	4	0	0	0.03	0.29	9.5	0.04	0.33	9.54	0.4	87.9	0	1.82	0,111	8.1	1.76	3.4	31.9	0.52
2Acb	42–65	4.39	4.16	-0.23	57	27	0	0	0.07	0.97	15.7	0.14	1.11	15.84	0.9	87.4	0	5.30	0,391	5.5	2.11	3.5	90.4	0.85
Bc	65-80+	4.87	4.39	-0.48	38	13	0	0	0.05	0.39	12.8	0.08	0.47	12.88	0.6	83	0	3.26	0,251	6.1	3.04	2.6	76.1	0.53

*crosta fosfática capeando nódulos concrecionários.

Horiz	Prof. cm	pH H ₂ O	pH KCl	ΔpH	P mg/d m ³	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V	m	ISNa	COT	N dag/kg	P- Rem mg/L	Cu	Mn	Fe	Zn
P9 – NEOSSOLO LITÓLICO Hístico típico - Interior da cavidade, alta deposição de guano de quirópteros.																								
Ac	0-15	2.92	2.81	-0.11	3.298.2	215	75.9	11.11	6.12	9.54	67	18.11	27.65	85.11	21.3	34.5	0.39	16.27	0,651	37.2	3.35	98.7	110	235
BFch	15-28	2.87	2.58	-0.29	40.4	18	0	0.08	0.06	1.56	15.3	0.19	1.75	15.49	1.2	89.1	0	0.75	0,070	16.8	1.14	1	162.7	2.1
F	28*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P10 – PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário cambissólico – Topo aplainado com Capão Florestal centro do Capão.																								
Ac	0-26	4.25	3.79	-0.46	2.7	38	7.6	0	0.08	1.95	17.3	0.21	2.16	17.51	1.2	90.3	0.19	4.54	0,125	9.4	0.52	1.5	95.4	0.78
BAC	26-35	4.64	4.15	-0.49	0.8	21	1.7	0	0.07	1.17	14.3	0.13	1.3	14.43	0.9	90	0.05	3.22	0,244	7.3	0.56	1.8	77.4	0.38
Bic	35-50*	5	4.27	-0.73	0.2	13	1.7	0	0.04	0.78	10.3	0.08	0.86	10.38	0.8	90.7	0.07	2.46	0,092	7	0.56	1	59.2	0.47
P11 – PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário cambissólico – Topo aplainado com Capão Florestal final do Capão.																								
Ac	0-23	4.71	3.9	-0.81	2.8	29	10.6	0	0.05	2.24	18.6	0.17	2.41	18.77	0.9	92.9	0.25	4.35	0,150	8	0.35	1.9	93.6	0.42
BAC	23-37	4.83	4.32	-0.51	1.4	14	1.7	0	0.05	0.88	11.4	0.09	0.97	11.49	0.8	90.7	0.06	3.93	0,261	4.4	0.32	1.6	54.2	0.51
Bic	37-60*	5	4.4	-0.60	0.6	6	0	0	0.03	0.78	11.2	0.05	0.83	11.25	0.4	94	0	3.11	0,236	4.1	0.24	1	51.3	0.29
P12 – NEOSSOLO LITÓLICO Hístico típico – Topo aplainado com Campo Rupestre Arbustivo.																								
Ac	0-18	4.37	3.62	-0.75	1.8	33	0	0	0.11	2.04	19.9	0.19	2.23	20.09	0.9	91.5	0	6.36	0,473	12.2	0.18	1.3	386.2	0.59
P13 – PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário cambissólico – Centro da Encosta com Floresta Ombrófila Aberta.																								
Ac	0-21	4.06	4.13	0.07	20	29	3.6	0	0.07	1.56	20.2	0.16	1.72	20.36	0.8	90.7	0.08	7.46	0,576	4.4	3.91	2.5	73.7	0.95
BAC	21-42	4.35	4.49	0.14	12.9	9	0	0	0.04	0.49	12.4	0.06	0.55	12.46	0.5	89.1	0	4.85	0,340	4.5	5.52	2.8	41.6	0.56
Bic	42-80*	4.75	4.72	-0.03	17.4	5	0	0	0.03	0.29	10	0.04	0.33	10.04	0.4	87.9	0	3.56	0,240	3.1	7.17	5.4	50.2	1.26

Horiz	Prof. cm	pH H ₂ O	pH KCl	ΔpH	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V	m	ISNa	COT	N	P- Rem	Cu	Mn	Fe	Zn	
					mg/d m ³	-----cmol _c /dm ³ -----						-----%-----			dag/kg	mg/L	-----mg/dm ³ -----								
P14 - PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico petroplíntico, Tb – Último perfil da Encosta com Floresta Ombrófila Aberta.																									
Ac	0-17	4.07	4.14	0.07	7.1	23	0	0	0.07	1.56	17.5	0.13	1.69	17.63	0.7	92.3	0	6.36	0,471	4.9	6.5	4.6	90.9	0.91	
BtAc	17-32	4.33	4.44	0.11	6.2	12	0	0	0.04	0.49	11.6	0.07	0.56	11.67	0.6	87.5	0	4.31	0,339	5	8.21	7.7	58.8	0.46	
Btwc1	32-57	4.67	4.74	0.07	5.5	4	0	0	0.02	0.19	9.5	0.03	0.22	9.53	0.3	86.4	0	3.26	0,271	2.6	9.41	6.2	44.5	0.32	
Bwc2	57-90 ⁺	4.96	4.77	-0.19	5.8	3	0	0	0.03	0.1	8.7	0.04	0.14	8.74	0.5	71.4	0	3.03	0,249	3.1	10.17	6	37.5	0.41	

*crosta fosfática capeando nódulos concrecionários.

Tabela 3. Teores de metais pesados (Cr, Ni, Cd, Pb) no Platô de N1, cavidade **N1-0174**.

Horiz	Prof. cm	Cr	Ni	Cd	Pb
-----mg/dm ³ -----					
P1 – NEOSSOLO LITÓLICO Hístico típico – Acima da borda da boca da caverna no Capão Florestal.					
Ac	0-10	0.5	1.21	0.29	3.01
F	100*	-	-	-	-
P2 – PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário cambissólico – Topo aplainado com Capão Florestal próximo à entrada da cavidade.					
Ac	0-21	0.49	1.01	0.39	3.4
BAc	21-27	0.47	1.01	0.45	3.09
Bic	27-45	0.54	0.89	0.34	3.91
F	45*	-	-	-	-
P3 – PLINTOSSOLO PÉTRICO Litoplíntico típico – Interior da cavidade, alta deposição de guano de quirópteros.					
A	0-2	0.69	0.97	0.42	3.13
Bch	2-17	0.63	0.83	0.38	2.92
F	17*	-	-	-	-
P4 - PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário cambissólico – Interior da cavidade. Paralelo ao P3.					
Ac*	0-3	0.63	1.19	0.28	2.75
Bic1	3-25	0.69	0.93	0.25	3.49
Bic2	25-40	0.53	0.99	0.44	3.5
F	40*	-	-	-	-

*crosta fosfática capeando nódulos concrecionários.

Horiz	Prof. cm	Cr	Ni	Cd	Pb
-----mg/dm ³ -----					
P5 - NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico fragmentário, interior da cavidade					
Ac	0-2	0.36	0.62	0.27	3.63
F	30*	-	-	-	-
P6 – PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário latossólico, Antrópico – Sítio Arqueológico interior da cavidade.					
Ac1*	0-2	0.59	1.06	0.39	3.15
Ac2	2-21	0	0.59	0.16	3.1
Bic	20-50	0.55	0.95	0.41	3.37
Bwc	50-100	0.57	0.68	0.29	4.09
BF*	100 – 120*	0	0.89	0.36	3.21
P7 – PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário latossólico, Antrópico – Sítio Arqueológico lateral da cavidade.					
Ac*	0-2	0.16	1.21	0.37	0.5
Ac	2-18	0.11	0.71	0.19	0.73
Bwc1	18-42	0.1	0.77	0.2	0.86
Bwc2*	42-80+	0	0.68	0.23	2.37
P8 – PLINTOSSOLO PÉTRICO Litoplúntico típico, A enterrado – Abertura da cavidade, Encosta com Floresta Ombrófila Aberta.					
Bwc	0-42	0.06	0.99	0.25	1.09
Acb	42-65	0.22	1.02	0.28	0.71
Bc	65-80*	1.2	2.26	0.25	1.65
Horiz	Prof.	Cr	Ni	Cd	Pb

	cm	-----mg/dm ³ -----			
P9 – NEOSSOLO LITÓLICO Hístico típico - Interior da cavidade, alta deposição de guano de quirópteros.					
A	0-15	0.84	1.26	0.25	1.53
BFch	15-28	0.06	0.86	0.18	1.25
F	28*	-	-	-	-
P10 – PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário cambissólico – Topo aplainado com Capão Florestal centro do Capão.					
Ac	0-26	0.17	1.12	0.34	2.04
BAC	26-35	0.33	0.77	0.06	1.9
Bic	35-50*	0.39	1.03	0.25	2.16
P11 – PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário cambissólico – Topo aplainado com Capão Florestal final do Capão.					
Ac	0-23	0.19	0.58	0.06	2.13
BAC	23-37	0.18	0.91	0.31	1.7
Bic	37-60*	0.32	0.59	0.11	2.12
P12 – NEOSSOLO LITÓLICO Hístico típico – Topo aplainado com Campo Rupestre Arbustivo.					
Ac	0-18	0.09	0.75	0.09	2.25
P13 – PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário cambissólico – Centro da Encosta com Floresta Ombrófila Aberta.					
Ac	0-21	0.17	1.12	0.34	1.35
BAC	21-42	0.11	1.14	0.28	1.94
Bic	42-80*	0.29	0.66	0.21	1.73
Horiz	Prof.	Cr	Ni	Cd	Pb

	cm	-----mg/dm ³ -----			
P14 - PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico petroplúntico, B textural – Último perfil da Encosta com Floresta Ombrófila Aberta.					
Ac	0-17	0.14	1.23	0.36	1.92
BtAc	17-32	0.2	0.63	0.14	2.36
Btwc1	32-57	0.02	0.53	0.13	2.2
Bwc2	57-90 ⁺	0	0.88	0.26	1.99

Tabela 4. Características morfológicas dos horizontes, no Platô de N4 (Vale da Lua), cavidade N4WS-0067.

Horiz.	Prof.	Cor Úmida	Estrutura ⁽¹⁾	Concreções ⁽²⁾	Consistência (molhada) ⁽³⁾	A. Grossa	A. Fina	Silte	Argila	Silte/Argila	Classificação
	cm	Munsell	Tipo, Classe, Grau	%	Plasticidade e Pegajosidade	----- % -----					
P15 – PLINTOSSOLO PÉTRICO Litoplíntico típico – Interior da cavidade alta deposição de guano de quirópteros, salão lateral.											
Ac*	0-4	5YR 5/8	BS, G, F	21	MPI e Pe	18.9	7.1	44.3	29.8	1,49	Franco-Argilosa
Bc1	4-22	5YR 5/6	BS, ME, M	32	MPI e MPe	19.3	5.7	45.3	29.7	1,53	Franco-Argilosa
Bc2	22 - 28	5YR 5/8	G, P, M	34	MPI e MPe	15.2	1.5	32.6	50.6	0,64	Argila
P16 – NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico fragmentário, A moderado – Interior da cavidade com raízes abundantes, segundo salão.											
Ac1*	0-2	10R 3/6	G, MP, F	7	LPI e LPe	0.301	30.1	5.4	20.3	1,66	Argila
Ac2	2-18	2.5YR 3/6	G, MP, F	4	LPI e LPe	0.268	26.8	5.8	42.1	1,66	Franca
P17 – PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico abruptico, Tb – Interior da cavidade, entrada principal.											
Ac	0-12	2.5YR 3/6	G, MP, F	40	LPI e NPe	36.5	7.1	30.5	26	1,17	Franca
Btc	12-30	5YR 4/6	G, MP, F	61	PI e Pe	19.4	4.7	25	50.9	0,49	Argila
P18 – NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico fragmentário – Centro da cavidade, primeiro salão.											
Ac1*	0-3	2.5YR 3/6	G, MP, F	24	LPI e LPe	6	2.7	36.4	54.8	0,66	Argila
Ac2*	3-6	5YR 6/6	G, MP, F	25	NPI e NPe	28.9	5.8	33.3	32	1,04	Franco-Argilosa
Ac3	6 - 17	10R 4/6	G, MP, F	16	PI e Pe	28.4	4.9	31.2	35.5	0,88	Franco-Argilosa

*Crosta fosfática capeando nódulos concrecionários.

**Estimado visualmente.

⁽¹⁾ Tipo (BA – Blocos Angulares, BS – Blocos Subangulares, G – Granular,), Tamanho (MP – Muito pequena, P – Pequena, ME – Média, G - Grande), Grau (GS – Grão Simples, FR – Fraca, M – Moderada, F – Forte).

⁽²⁾ Quantificado pelo peso da TFSA e concreções de cada horizonte (Vide Anexo).

⁽³⁾ Plasticidade (NPI – Não Plástica, LPI – Ligeiramente Plástica, PI – Plástica, MPI – Muito Plástica) e Pegajosidade (NPe – Não Pegajoso, LPe – Ligeiramente Pegajoso, Pe – Pegajoso, MPe – Muito Pegajoso).

Horiz.	Prof.	Cor Úmida	Estrutura ⁽¹⁾	Concreções ⁽²⁾	Consistência (molhada) ⁽³⁾	A. Grossa	A. Fina	Silte	Argila	Silte/Argila	Classificação
	cm	Munsell	Tipo, Classe, Grau	%	Plasticidade e Pegajosidade	----- % -----					
P19 – NEOSSOLO LITÓLICO Hístico típico – Encosta com Capão Florestal, próximo à entrada principal da cavidade.											
A	0-12	2.5YR 3/4	G, MP, F	11	PI e Pe	34.8	6.1	28	31.1	0,90	Franco-Argilosa
P20 – NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico fragmentário – Encosta com Capão Florestal, centro do Capão.											
Ac	0-4	2.5YR 2.5/3	G, MP, F	27	NPI e NPe	36.3	4.8	29.5	29.5	1,00	Franco-Argilosa
P26 – NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico fragmentário – Encosta com Campo Rupestre Arbustivo, ao lado da entrada secundária da cavidade.											
Ac/F	0-5	2.5YR 2.5/3	G, MP, F	20	NPI e NPe	16.6	3.6	48.5	31.3	1,55	Franco-Argilosa

*Crosta fosfática capeando nódulos concrecionários.

**Estimado visualmente.

⁽¹⁾ Tipo (BA – Blocos Angulares, BS – Blocos Subangulares, G – Granular,), Tamanho (MP – Muito pequena, P – Pequena, ME – Média, G - Grande), Grau (GS – Grão Simples, FR – Fraca, M – Moderada, F – Forte).

⁽²⁾ Quantificado pelo peso da TFSA e concreções de cada horizonte (Vide Anexo).

⁽³⁾ Plasticidade (NPI – Não Plástica, LPI – Ligeiramente Plástica, PI – Plástica, MPI – Muito Plástica) e Pegajosidade (NPe – Não Pegajoso, LPe – Ligeiramente Pegajoso, Pe – Pegajoso, MPE – Muito Pegajoso).

Tabela 5. Atributos químicos dos solos, divisão dos horizontes e classe de solo no Platô de N4 (Vale da Lua) na cavidade N4WS-0067.

Horiz	Prof. cm	pH H ₂ O	pH KCl	ΔpH	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V	m	ISNa	COT	N	P- Rem	Cu	Mn	Fe	Zn
					mg/d m ³																dag/kg	mg/L		
P15 – PLINTOSSOLO PÉTRICO Litoplúntico típico – Interior da cavidade alta deposição de guano de quirópteros, salão lateral.																								
Ac*	0-4	4.35	3.89	-0.46	130.7	1	0	0	0.01	0.29	12.8	0.01	0.3	12.81	0.1	96.7	0	0.23	0,045	17	1.75	0.8	127.5	0.51
Bc1	4-22	4.06	3.61	-0.45	87.3	0	0	0	0.01	0.39	16.2	0.01	0.4	16.21	0.1	97.5	0	0.53	0,055	13.7	2.77	1	251.2	0.5
Bc2	22 - 28	3.45	3.14	-0.31	129.9	31	0	0	0.04	0.78	18.1	0.12	0.9	18.22	0.7	86.7	0	0.15	0,098	16.1	1.59	1.2	713.9	0.63
F	28 ⁺	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P16 – NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico fragmentário, A moderado – Interior da cavidade com raízes abundantes, segundo salão.																								
Ac1*	0-2	3.7	3.07	-0.63	17.7	32	0	0	0.08	1.46	19.9	0.16	1.62	20.06	0.8	90.1	0	4.09	0,288	11.2	1.05	22.8	1.441.1	0.95
Ac2	2-18	3.92	3.23	-0.69	42.3	5	0	0	0.03	0.97	15.7	0.04	1.01	15.74	0.3	96	0	1.67	0,112	13.5	0.84	4	1.061.7	0.55
F	18 ⁺	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P17 – PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico abrupto, Tb – Interior da cavidade, entrada principal.																								
Ac	0-12	3.79	3.41	-0.38	82.4	13	0	0	0.05	1.95	24.6	0.08	2.03	24.68	0.3	96.1	0	4.77	0,278	3.2	4.84	3.4	1.452.1	0.7
Btc	12-30	3.95	3.27	-0.68	94.8	27	0	0	0.05	2.34	21	0.12	2.46	21.12	0.6	95.1	0	3.78	0,355	6.2	4.92	3.7	1.216.7	0.61
F	30 ⁺	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P18 – NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico fragmentário – Centro da cavidade, primeiro salão.																								
Ac1*	0-3	3.27	2.67	-0.60	138.8	21	0	0	0.03	1.75	25.7	0.08	1.83	25.78	0.3	95.6	0	4.16	0,364	14.9	3.84	2.6	1.366.2	0.7
Ac2*	3-6	3.47	2.48	-0.99	141.9	44	0	0	0.01	1.85	13.3	0.12	1.97	13.42	0.9	93.9	0	0.99	0,356	31.1	0.88	0.3	705	0.42
Ac3	6 - 17	3.4	2.82	-0.58	47.7	28	0	0	0.02	1.17	11.9	0.09	1.26	11.99	0.8	92.9	0	0.60	0,135	32.5	1.68	0.4	300.6	0.34
F	17 ⁺	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*Crosta fosfática capeando nódulos concrecionários.

Horiz	Prof. cm	pH H ₂ O	pH KCl	ΔpH	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V	m	ISNa	COT	N	P- Rem	Cu	Mn	Fe	Zn	
					mg/d m ³	-----cmol _c /dm ³ -----						-----%-----			dag/kg	mg/L	-----mg/dm ³ -----								
P19 – NEOSSOLO LITÓLICO Hístico típico – Encosta com Capão Florestal, próximo à entrada principal da cavidade.																									
A	0-12	3.74	3.37	-0.37	22.8	122	6.6	0.04	0.4	2.04	25.7	0.78	2.82	26.48	2.9	72.3	0.11	8.71	0,659	5.4	6.57	25	863.2	2.38	
F	12+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P20 – NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico fragmentário – Encosta com Capão Florestal, centro do Capão.																									
Ac	0-4	3.73	3.56	-0.17	25	19	0	0	0.04	1.07	13	0.09	1.16	13.09	0.7	92.2	0	2.04	0,203	13.2	1.77	1.8	542.5	0.7	
F	4+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P26 – NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico fragmentário – Encosta com Campo Rupestre Arbustivo, ao lado da entrada secundária da cavidade.																									
Ac/F	0-5	3.39	2.85	-0.54	16.3	80	5.6	0	0.21	2.14	29.1	0.44	2.58	29.54	1.5	82.9	0.08	12.11	0,233	12	1.61	23.8	1.673.6	2.36	
F	5+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 6. Teores de metais pesados (Cr, Ni, Cd, Pb) no Platô de N4 (Vale da Lua), cavidade N4WS-0067.

Horiz	Prof.	Cr	Ni	Cd	Pb
	cm		-----mg/dm ³ -----		
P15 – PLINTOSSOLO PÉTRICO Litoplântico típico – Interior da cavidade alta deposição de guano de quirópteros, salão lateral.					
Ac*	0-4	0	0.82	0.3	1.96
Bc1	4-22	0	0.69	0.25	2.7
Bc2	22 - 28	0	1.12	0.33	2.11
F	28*	-	-	-	-
P16 – NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico fragmentário, A moderado – Interior da cavidade com raízes abundantes, segundo salão.					
Ac1*	0-2	0	1.34	0.33	0
Ac2	2-18	0	1.01	0.23	0
F	18*	-	-	-	-
P17 – PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico abrupto, Tb – Interior da cavidade, entrada principal.					
Ac	0-12	0.08	0.94	0.17	2.63
Btc	12-30	0	0.92	0.16	2.82
F	30*	-	-	-	-
P18 – NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico fragmentário – Centro da cavidade, primeiro salão.					
Ac1*	0-3	0	1.28	0.33	3.09
Ac2*	3-6	0	1	0.28	2.83
Ac3	6 - 17	0	0.31	0.14	2.77
F	17*	-	-	-	-
Horiz	Prof.	Cr	Ni	Cd	Pb

	cm		-----mg/dm ³ -----		
P19 – NEOSSOLO LITÓLICO Hístico típico – Encosta com Capão Florestal, próximo à entrada principal da cavidade.					
A	0-12	0	1.5	0.34	3.46
F	12+	-	-	-	-
P20 – NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico fragmentário – Encosta com Capão Florestal, centro do Capão.					
Ac	0-4	0	1.14	0.34	2.68
F	4+	-	-	-	-
P26 – NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico fragmentário – Encosta com Campo Rupestre Arbustivo, ao lado da entrada secundária da cavidade					
Ac/F	0-5	0.1	1.56	0.34	2.91
F	5+	-	-	-	-

Tabela 7. Características morfológicas dos horizontes, no Platô S11D, cavidade Serra Sul.

Horiz.	Prof.	Cor Úmida	Estrutura ⁽¹⁾	Concreções ⁽²⁾	Consistência (molhada) ⁽³⁾	A. Grossa	A. Fina	Silte	Argila	Silte/Argila	Classificação
	cm	Munsell	Tipo, Classe, Grau	%	Plasticidade e Pegajosidade	----- % -----					
P21 – PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário latossólico – Interior da cavidade, primeiro salão.											
Ac*	0-2	10R 4/6	G, BS, P e M, FR e M	58	MPI e MPe	29.4	5.8	34.9	29.9	1,17	Franco-Argilosa
Bwc1	2-32	2.5YR 3/6	G, MP, F	23	LPI e LPe	29.9	6	37.1	27	1,37	Franco-Argilosa
Bwc2	32-50	2.5YR 3/6	G, MP, F	51	LPI e Pe	29	5.6	33.8	31.6	1,07	Franco-Argilosa
P22 – PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário latossólico – Topo aplainado com Capão Florestal, centro do Capão.											
Ac	0-19	2.5YR 2.5/4	G, MP, F	10	NPI e NPe	29.6	6.9	32.6	31	1,05	Franco-Argilosa
BAwc	19-33	10R 3/6	G e BS, MP, P e M, F e FR	16	MPI e Pe	29.2	6.6	38	26.2	1,45	Franca
Bwc	33-60+	10R 3/6	G, MP, F	17	MPI e Pe	26.6	5.9	39.7	27.7	1,43	Franco-Argilosa
P23 – PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário cambissólico – Topo aplainado com Capão Floresta, final do Capão.											
Ac	0-11	10R 3/3	G e BS, MP, P e M, F e FR	19	NPI e NPe	23.6	3.9	31.3	41.2	0,76	Argila
BAC	11-22	10R3/4	G e BS, MP e M, F e FR	32	LPI e LPe	48	1.8	20.5	29.8	0,69	Franco-Argilo-Arenosa
Bc	22-40+	10R 3/4	BS, M, F	49	LPI e LPe	15	4.9	39.8	40.3	0,99	Argila
P24 – NEOSSOLO LITÓLICO Hístico típico – Topo aplainado com Campo Rupestre Aberto com <i>Vellozia glauca</i>.											
Ac	0-21	2.5 YR 2.5/3	BA, P,F	72	NPI e NPe	27.3	5.2	19.5	47.9	0,41	Argila
P25 – NEOSSOLO LITÓLICO Hístico típico – Campo Rupestre Arbustivo localizado acima da cavidade.											
Ac	0-7	10R 2.5/1	BA, P,F	86	NPI e NPe	8.2	3.9	25.4	62.6	0,41	Muito Argilosa

*Crosta fosfática capeando nódulos concrecionários.

**Estimado visualmente.

⁽¹⁾ Tipo (BA – Blocos Angulares, BS – Blocos Subangulares, G – Granular,), Tamanho (MP – Muito pequena, P – Pequena, ME – Média, G - Grande), Grau (GS – Grão Simples, FR – Fraca, M – Moderada, F – Forte).

⁽²⁾ Quantificado pelo peso da TFSA e concreções de cada horizonte (Vide Anexo).

⁽³⁾ Plasticidade (NPI – Não Plástica, LPI – Ligeiramente Plástica, PI – Plástica, MPI – Muito Plástica) e Pegajosidade (NPe – Não Pegajoso, LPe – Ligeiramente Pegajoso, Pe – Pegajoso, MPe – Muito Pegajoso).

Tabela 8. Atributos químicos dos solos, divisão dos horizontes e classe de solo no Platô S11D, cavidade Serra Sul.

Horiz	Prof. cm	pH H ₂ O	pH KCl	ΔpH	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V	m	ISNa	COT	N	P- Rem	Cu	Mn	Fe	Zn	
					mg/d m ³	-----cmol _c /dm ³ -----										-----%-----			dag/kg	mg/L	-----mg/dm ³ -----				
P21 – PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário latossólico – Interior da cavidade, primeiro salão.																									
Ac*	0-2	3.89	3.95	0.06	20	0	0	0	0.01	0.39	9.6	0.01	0.4	9.61	0.1	97.5	0	0.99	0,075	10.6	2.24	0.3	265.5	0.45	
Bwc1	2-32	4.32	4.21	-0.11	16.3	0	0	0	0.01	0.39	8.2	0.01	0.4	8.21	0.1	97.5	0	0.99	0,065	12.6	2.07	0.3	135.7	0.41	
Bwc2	32-50	4.31	4.19	-0.12	15.6	0	0	0	0.01	0.29	7.7	0.01	0.3	7.71	0.1	96.7	0	0.91	0,064	11.6	2.13	0.4	147	0.37	
F	50*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
P22 – PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário latossólico – Topo aplainado com Capão Florestal, centro do Capão.																									
Ac	0-19	3.6	3.75	0.15	14.6	12	0	0	0.05	1.56	13.3	0.08	1.64	13.38	0.6	95.1	0	2.80	0,188	13.7	1	0.9	141.4	0.82	
BAwc	19-33	4.23	4.02	-0.21	13.8	4	0	0	0.02	0.49	9.3	0.03	0.52	9.33	0.3	94.2	0	1.44	0,105	14.2	1.56	0.8	168.2	0.69	
Bwc	33-60*	4.48	4.1	-0.38	11.6	2	0	0	0.03	0.39	7.5	0.04	0.43	7.54	0.5	90.7	0	0.99	0,092	14	1.73	0.7	136.2	0.92	
P23 – PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário cambissólico – Topo aplainado com Capão Floresta, final do Capão.																									
Ac	0-11	3.47	3.15	-0.32	6.6	36	0	0	0.1	2.63	20.4	0.19	2.82	20.59	0.9	93.3	0	4.16	0,102	17.3	0.77	1.3	308.8	0.96	
BAC	11-22	3.95	3.67	-0.28	6.4	9	0	0	0.04	1.17	11.1	0.06	1.23	11.16	0.5	95.1	0	1.67	0,148	14.9	0.73	0.9	125.6	0.8	
Bc	22-40*	4.19	3.86	-0.33	5.3	8	0	0	0.03	1.07	10	0.05	1.12	10.05	0.5	95.5	0	1.74	0,135	14.7	0.89	0.9	146.8	0.68	
P24 – NEOSSOLO LITÓLICO Hístico típico – Topo aplainado com Campo Rupestre Aberto com <i>Vellozia glauca</i>.																									
Ac	0-21	3.98	2.73	-1.25	6	239	137.3	3.7	1.38	2.63	46.1	6.29	8.92	52.39	12	29.5	1.14	28.76	1.00	25	3.31	32.9	1.291.8	8.53	
F	21*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

*Crosta fosfática capeando nódulos concrecionários.

Horiz	Prof.	pH	pH	Δ pH	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V	m	ISNa	COT	N	P- Rem	Cu	Mn	Fe	Zn
	cm	H ₂ O	KCl		mg/d m ³	-----cmol _c /dm ³ -----						-----%-----			dag/kg	mg/L	-----mg/dm ³ -----							
P25 – NEOSSOLO LITÓLICO Hístico típico – Campo Rupestre Arbustivo localizado sobre a entrada da cavidade.																								
Ac	0-7	3.65	2.67	-0.98	14.9	117	13.5	0.66	0.38	4.87	52.7	1.4	6.27	54.1	2.6	77.7	0.11	24.98	1.19	10.4	1.49	5.4	1.584.7	2.83
F	7*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*Crosta fosfática capeando nódulos concrecionários.

**Estimado visualmente.

⁽¹⁾ Tipo (BA – Blocos Angulares, BS – Blocos Subangulares, G – Granular,), Tamanho (MP – Muito pequena, P – Pequena, ME – Média, G - Grande), Grau (GS – Grão Simples, FR – Fraca, M – Moderada, F – Forte).

⁽²⁾ Quantificado pelo peso da TFSA e concreções de cada horizonte (Vide Anexo).

⁽³⁾ Plasticidade (NPI – Não Plástica, LPI – Ligeiramente Plástica, PI – Plástica, MPI – Muito Plástica) e Pegajosidade (NPe – Não Pegajoso, LPe – Ligeiramente Pegajoso, Pe – Pegajoso, MPe – Muito Pegajoso).

Tabela 9. Teores de metais pesados (Cr, Ni, Cd, Pb) no Platô S11D, cavidade Serra Sul.

Horiz	Prof. cm	Cr	Ni	Cd	Pb
-----mg/dm ³ -----					
P21 – PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário latossólico – Interior da cavidade, primeiro salão.					
Ac*	0-2	0	0.84	0.3	3.7
Bwc1	2-32	0	0.8	0.31	3.19
Bwc2	32-50	0	0.6	0.23	3.19
F	50*	-	-	-	-
P22 – PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário latossólico – Topo aplainado com Capão Florestal, centro do Capão.					
Ac	0-19	0	1.03	0.3	3.16
BAwc	19-33	0	0.61	0.18	3.45
Bwc	33-60*	0	0.92	0.39	3.53
P23 – PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário cambissólico – Topo aplainado com Capão Floresta, final do Capão.					
Ac	0-11	0	0.78	0.24	3.5
BAC	11-22	0	0.9	0.36	3.3
Bc	22-40*	0	1.1	0.39	3.3
P24 – NEOSSOLO LITÓLICO Hístico típico – Topo aplainado com Campo Rupestre Aberto com <i>Vellozia glauca</i>.					
Ac	0-21	0.15	1.74	0.41	2.76
F	21*	-	-	-	-

Horiz	Prof.	Cr	Ni	Cd	Pb
	cm		-----mg/dm ³ -----		
P25 – NEOSSOLO LITÓLICO Hístico típico – Campo Rupestre Arbustivo localizado sobre a entrada da cavidade.					
Ac	0-7	2.83	0.16	1.46	0.24
F	7+	-	-	-	-

*Crosta fosfática capeando nódulos concrecionários.

**Estimado visualmente.

⁽¹⁾ Tipo (BA – Blocos Angulares, BS – Blocos Subangulares, G – Granular,), Tamanho (MP – Muito pequena, P – Pequena, ME – Média, G - Grande), Grau (GS – Grão Simples, FR – Fraca, M – Moderada, F – Forte).

⁽²⁾ Quantificado pelo peso da TFSA e concreções de cada horizonte (Vide Anexo).

⁽³⁾ Plasticidade (NPI – Não Plástica, LPI – Ligeiramente Plástica, PI – Plástica, MPI – Muito Plástica) e Pegajosidade (NPe – Não Pegajoso, LPe – Ligeiramente Pegajoso, Pe – Pegajoso, MPe – Muito Pegajoso).

DISCUSSÃO

Caracterização Geral dos solos

Neossolos Litólicos

Todos solos enquadrados na ordem dos Neossolos Litólicos incluíram em 3º e 4º níveis categóricos os *Neossolos Litólicos Hísticos típicos* (P1; P9; P12; P19; P24; P25) e *Neossolos Litólicos Distróficos fragmentários* (P16; P18; P20; P26).

Os Neossolos Litólicos Hísticos típicos ocorrem em quatro Geoambientes distintos, que incluíram o Capão Florestal; o Geoambiente das Cavidades Naturais Subterrâneas ; o Campo Rupestre Arbustivo; e o Campo Rupestre Aberto. Nos Campos Rupestres Ferruginosos Arbustivos e Campos Rupestres Ferruginosos Abertos a evolução do solo foi restrita pelo material de origem, canga altamente resistente, enquanto nas Cavidades e nos Capões Florestais o principal fator foi a erosão acentuada. A declividade no interior da Cavidade e no Capão Florestal favoreceram o fluxo de massa, que condicionou a predominância de solos truncados. Os Capões normalmente apresentam solos com maior desenvolvimento pedogenético (NUNES, 2009; NUNES *et al.* 2015; SCHAEFER *et al.* 2016b), porém devido à declividade externa da Cavidade N4WS-0067 a erosão acentuada formou solos rasos nesse ambiente florestado.

A origem do material orgânico distinguiu entre os solos do interior da cavidade e fora. A deposição de guano na cavidade foi a principal fonte orgânica e a serapilheira nos geoambientes externos. A presença de térmitas principalmente nos Campos Rupestres Ferruginosos Arbustivos e abertos tem grande influência na acumulação de material mineral e orgânico nos solos (SCHAEFER *et al.* 2015) (Fig. 1).



Figura 1. Perfis de solo Neossolos Litólicos Hísticos típicos. O perfil 9 encontra-se no interior da Caverna de N1-0174, nota-se alta deposição superficial de guano fresco; perfil 19, localizado no Capão Florestal da Caverna N4WS-0067; e perfil 12, sob Campo Rupestre Arbustivo em N1-0174.

Os Neossolos Litólicos Distróficos fragmentários ocorreram praticamente nos mesmos geoambientes dos Neossolos Litólicos Hísticos típicos, com exceção dos Campos Rupestres Ferruginosos Abertos. Essa classe teve sua ocorrência restrita à região de N4WS-0067. Seu contato lítico fragmentário é originário da presença de blocos caídos proveniente da canga detrítica fragmentada. A ação da erosão laminar associada à declividade e à presença das Formações Ferruginosas Bandadas (FFB), rocha de difícil intemperismo, foram os principais fatores que restringiram a evolução desses solos no interior

da cavidade. No Campo Rupestre Arbustivo a declividade foi o fator limitante devido a erosão (Fig 2).



Figura 2. Perfis de Neossolo Litólico Distrófico fragmentário, todos em N4WS-0067. O perfil 20 encontra-se no Capão Florestal, observa-se fragmento de canga em tamanho de matacão; perfil 18, no interior da cavidade, é possível observar uma linha esbranquiçada no perfil, constituída de fosfatos precipitados; perfil 26, no Campo Rupestre Arbustivo, também apresentou blocos de canga ao longo da seção controle do perfil.

Plintossolos Pétricos

Os Plintossolos Pétricos são a classe de solo, juntamente com os Neossolos Litólicos, de maior importância dentro dos geoambientes estudados e admitiram dois principais tipos de horizontes: horizontes concrecionários e os horizontes litoplínticos. Os Plintossolos Pétricos Concrecionários estudados foram classificados ao 4º nível categórico como *Plintossolos Pétricos Concrecionários cambissólicos* (P2; P4; P10; P11; P13; 23) e *Plintossolos Pétricos Concrecionários latossólicos* (P6; P7; P21; P22). Os solos com horizonte litoplíntico foram todos enquadrados como *Plintossolos Pétricos Litoplínticos típicos* (P3; P8; P15).

Os Plintossolos Pétricos Concrecionários cambissólicos ocorreram nos geoambientes de Capão Florestal, Mata de Encosta e nas Cavidades Naturais. Os Capões Florestais que apresentaram essa classe de solo estão localizados em um relevo local plano seus solos são formados a partir de pequenos bolsões nas fraturas da laterita que se aprofundam com a ação da atividade biológica (NUNES, 2009; NUNES *et al.* 2015; SCHAEFER *et al.* 2016b). A ação da vegetação no aprofundamento do solo é também notória observada pela presença de raízes até a base dos perfis.

No geoambiente da Mata de Encosta foi observado que os solos possuem contribuição de material transportado por erosão o que permitiu seu enquadramento em 4º nível como Cambissólico. Na Caverna Natural (N1-0174) o aprofundamento do solo ocorreu devido à ação decompositora do guano associada ao relevo plano dos lajedos de canga no interior da caverna, e o transporte e deposição dos sedimentos (Fig 3).



Figura 3. Perfil 13 sob Floresta Ombrófila Aberta (ME) região de N1-0174, com presença de blocos coluviais e eluviais na seção controle do perfil; perfil 4, interior da cavidade em N1-0174; e perfil 23, em S11D, sob Capão Florestal.

Os Plintossolos foram também classificados como Plintossolos Pétricos Concrecionário latossólicos, presentes nos geoambientes de CF e CNS. A intensa atividade biológica e abundância de raízes ao longo dos perfis está associado ao processo de fosfatização proveniente do guano de quirópteros comprovada pela presença de nódulos e concreções capeados por fosfatos. Dois perfis arqueológicos (P6 e P7) tiveram aporte de sedimentos transportados e presença de carvão pirogênico (CAMPOS *et al.* 2011) (Fig 4).



Figura 4. Perfil 7 no interior da cavidade N1-0174 em sítio arqueológico de caçadores coletores; perfil 21 no interior da cavidade em S11D, nota-se abundância de raízes ao longo de toda a seção controle; e perfil 22 sob Capão Florestal em S11D.

Plintossolos Argilúvicos

No presente estudo foram classificados dois perfis de Plintossolos Argilúvicos: *Plintossolos Argilúvico Distrófico petroplíntico* (P14) e *Plintossolo Argilúvico Distrófico abruptico* (P17), ambos com argila de atividade baixa (Tb).

O Plintossolo Argilúvico Distrófico petroplíntico está presente apenas na Mata de Encosta. O perfil está na encosta da vertente, com blocos de canga coluviais depositados e abundância de raízes. O acúmulo de argila em profundidade nesse solo ocorreu pela a percolação intensa de água associado à atividade intensa da rizosfera, permitindo a mobilização de argila. Foi enquadrado como petroplíntico devido ao seu caráter concrecionário.

O Plintossolo Argilúvico Distrófico abruptico ocorreu na saída da cavidade N4WS-0067. Algumas seções dessa cavidade encontram-se alagadas o que indica que a ação da percolação de água nessa cavidade é intensa. O fluxo de água ocorre preferencialmente no local onde o perfil foi coletado. (Fig 5).



Figura 5. Perfil 14 em N1-0174 sob Floresta Ombrófila aberta ou Mata de Encosta; perfil 17, na saída da cavidade N4WS-0067.

Caracterização Morfológica dos Solos

Em geral todos os solos estudados apresentaram concreções endurecidas, estrutura granular, pequena e forte e cores que variam entre avermelhada, amarelada e acinzentada. A presença de cores brunadas deve-se à deposição de matéria orgânica, enquanto as cores Vermelho e avermelhado são consequência da alta dominância de Hematita.

São solos com profundidades que podem variar de 10 cm até 60 cm, sendo mais profundos que a maioria dos solos das Cavidades Naturais e Campos Rupestres Ferruginosos Arbustivos e Abertos, com exceção dos solos dos Capões Florestais da cavidade N4WS-0067 que variaram entre 4 cm a 12 cm (P19 e P20). A estrutura desses solos quanto ao Tipo, Classe e Grau foram classificados como Granular, Pequena ou Muito Pequena e Forte, sendo admitido a presença de Blocos Subangulares (P22 e P23).

Sua estrutura é consequência da natureza oxídica típica dos solos muito intemperizados de Carajás. Sua consistência quando molhada pode variar entre Ligeiramente Plástica e Ligeiramente Pegajosa e Não-Plástica e Não-Pegajosa, com predominância quase em todos os solos do segundo. Essa consistência é consequência da presença de material orgânico não humificado distribuído ao longo dos horizontes dos solos.

Os solos coletados na Mata de Encosta apresentaram a maior profundidade entre os solos estudados variando de 80 cm à mais de 90 cm de profundidade. Os solos das Cavidades Naturais Subterrâneas são rasos, porém tiveram variação em sua profundidade de 17 cm à mais de 120 cm. A baixa profundidade desses perfis é devido à erosão. Sua coloração foi a mais variada entre os geoambientes estudados, variando de Cinzento-Muito-Escuro a Bruno-Avermelhado-Escuro. A presença da coloração acinzentada é devido à deposição de guano, e as amareladas à presença de minerais como a Gibbsita, Lepidocrocita e Goethita.

A porcentagem de concreções varia de 20% a 70%, com maiores valores identificados nos solos dos Campos Rupestres Ferruginosos (Fig 6), devido ao menor grau de desenvolvimento pedogenético e destruição das couraças desses solos. Solos mais bem desenvolvidos da Mata de Encosta e Capões Florestais apresentaram em superfície menor porcentagem de concreções.

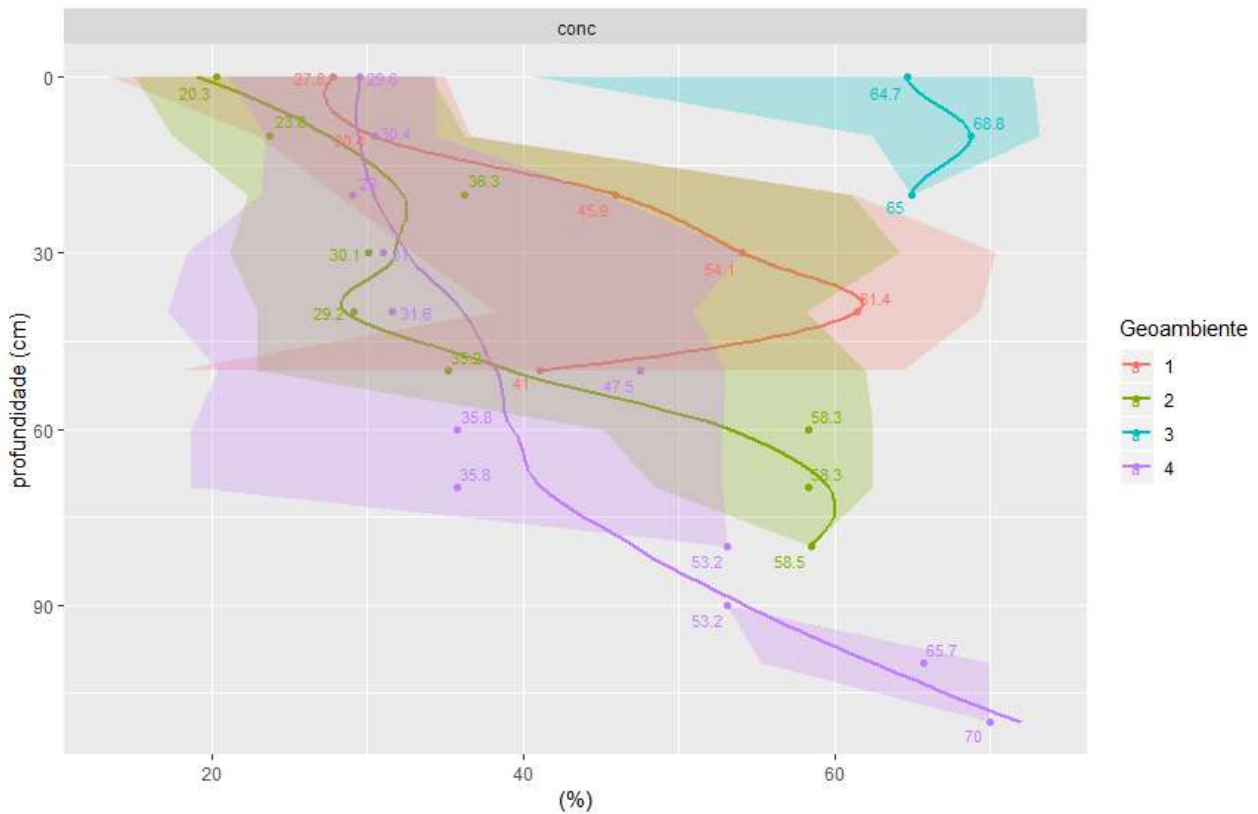


Figura 6. Porcentagem de concreções (conc) nos geoambientes estudados e sua relação com a profundidade. (1 – Capão Florestal; 2 - Mata de Encosta; 3 – Campo Rupestre Arbustivo e 4 – Cavidades Naturais Subterrâneas).

Os teores de argila que varia de 27% a 53% (Fig 8), com aumento em profundidade na maioria dos geoambientes estudados. Possivelmente esse aumento dos teores de argila está associado ao processo de elutriação principalmente nos locais onde a declividade é acentuada. O fluxo superficial das águas promove a erosão dos horizontes superficiais dos solos, removendo o material fino desses horizontes mobilizando as argilas para o sistema de drenagem (KAMF & CURI, 2012). Uma forte evidência desse processo é a variação nos horizontes superficiais da Classe textural Franco-Argiloso (P3, P6, P9, P15, 21) e Franca (P17) para Argiloso (P4, P7, P16, P18) nos solos coletados no geoambientes das Cavidades Naturais, onde a declividade acentuada juntamente com a o empoçamento da água acidificada pelo guano favoreceram o transporte de argilas e deposição em superfície. O horizonte enterrado do perfil 8 (ME) denota o processo de elutriação.

Os solos que apresentaram maior variação textural, com horizontes Bt, foram os Plintossolos Argilúvicos da Mata de Encosta (P14) e na saída da cavidade N4WS-0067 (P17). A alta porosidade da canga e dos solos facilitam a mobilização das argilas embora possa ocorrer neoformação de argilas.

O incremento de argila em superfície é atribuído à bioturbação por térmitas (SCHAEFER *et al.* 2015). O decréscimo de argila a partir dos 45 cm de profundidade na ME e dos 60 cm de profundidade nas Cavidades é devido à triagem de material pelos cupins ou à deposição de guano que contribuem para o incremento de argila na superfície, em detrimento do turnover biológico (PULLAN, 1979; LEE, 1983; SCHAEFER, 2001).

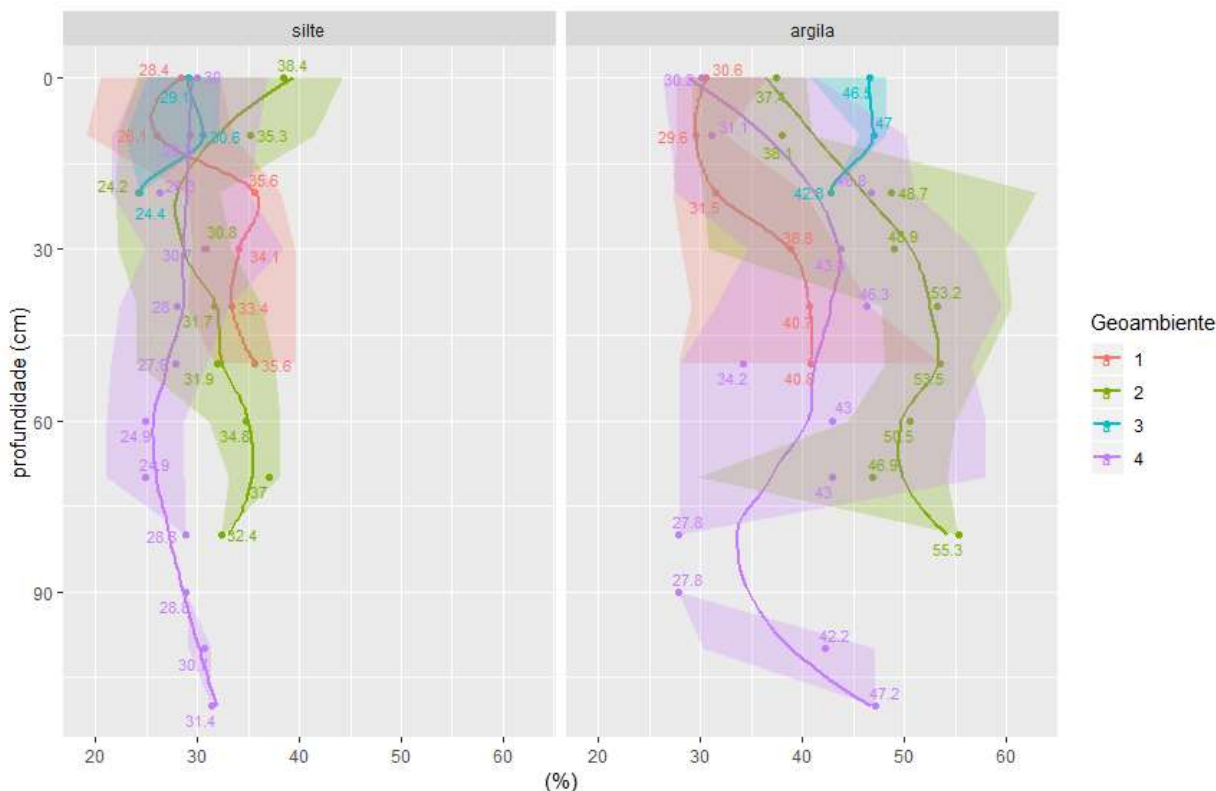


Figura 8. Porcentagem da fração silte e argila nos geoambientes estudados e sua relação com a profundidade. (1 – Capão Florestal; 2 - Mata de Encosta; 3 – Campo Rupestre e 4 – Cavidades Naturais Subterrâneas).

Os teores relativamente elevados de Silte (24% a 38%) são decorrência de concreções ferruginosas em tamanho silte, denominados de pseudosilte. De acordo com CURI (1983) a presença dessas concreções de tamanho silte podem dificultar o processo de dispersão do solo em laboratório levando à subestimação dos valores de argila.

A relação Silte/Argila nos geoambientes variou de 0,3 à 1,0 (Fig. 9). Os valores superiores à 0,7, limite para os latossolos brasileiros demonstram a interferência da fração pseudosilte no processo de dispersão da argila em laboratório. Os solos de Carajás são naturalmente oxidicos e intemperizados, demonstrado pelos valores muito próximos de zero do ΔpH ou ΔpH positivo na maioria dos perfis de solo, o que indica que os valores da relação Silte/Argila estão superestimados.

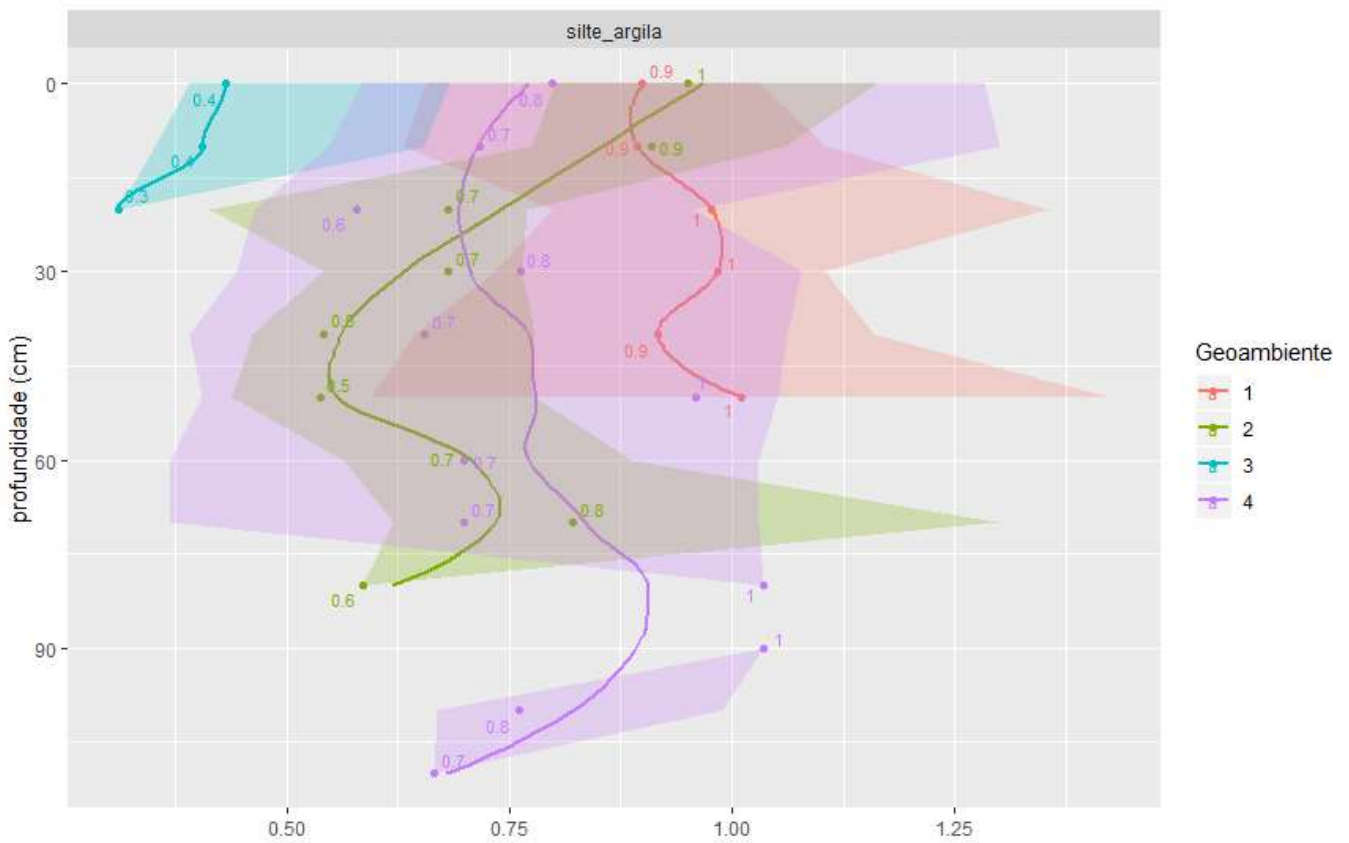


Figura 9. Relação Silte/Argila (silte_argila) nos geoambientes estudados e sua relação com a profundidade. (1 – Capão Florestal; 2 - Mata de Encosta; 3 – Campo Rupestre e 4 – Cavidades Naturais Subterrâneas).

Atributos Químicos

De forma geral, os solos apresentaram baixa CTC efetiva, elevados teores de Al^{3+} no complexo de troca, valores elevados de Ferro extraível e elevada acidez e distrofismo, corroborando com os outros estudos de solos em Carajás (RIBEIRO, 2009; CORRÊA *et al.* 2016; SCHAEFER, *et al.* 2015; SCHAEFER *et al.* 2016a; SCHAEFER *et al.* 2016b). Os solos no interior das cavidades apresentaram teores de Fósforo (Mehlich 1) bem mais elevados que os demais geoambientes, indicando as Cavidades Naturais Subterrâneas como *hotspots* de Fósforo em um Geossistema complexo dominado pela pobreza química extrema dos solos lateríticos da Serra dos Carajás. A deposição de guano tem também uma influência significativa na adição de bases trocáveis como K, Na, Ca, Mg além de Cu, Mn, e Zn nos solos, concentrando mais nutrientes no interior das cavernas.

Os valores de pH do solo demonstraram elevada acidez, sendo a maioria dos solos extremamente ácidos ($pH < 4,3$), com exceção dos perfis P12, P8, P11, P12 e P14, classificados como fortemente ácidos (EMBRAPA, 2018). Os solos localizados no interior das cavidades apresentaram valores de pH inferiores aos dos demais geoambientes estudados, sendo o P9 com valor mais baixo (Fig. 10). Essa acidez acentuada tem influência do guano depositado por quirópteros, de reação ácida (HUTCHINSON, 1950; ALBURQUERQUE *et al.* 2018). O processo de fosfatização no interior das Cavernas, revelado pelos altos teores de Fósforo (Mehlich 1), levam liberação à de íons H^+ , HNO_3 , H_2SO_4 , para solução do solo no momento de sua formação, intensificando a acidez dos solos cavernícolas (FIGUEIRA *et al.* 2019). O valor do pH aumentou em profundidade em todos geoambientes estudados, em decorrência da influência da matéria orgânica, que com a liberação de ácidos orgânicos eleva a acidez dos solos em superfície (CORRÊA *et al.* 2016). Os valores do ΔpH foram positivos para os solos da ME e muito próximos à zero nos demais geoambientes, o que indica o caráter ácrico para solos da Mata de Encosta e elevado grau de intemperismo em todos os solos.

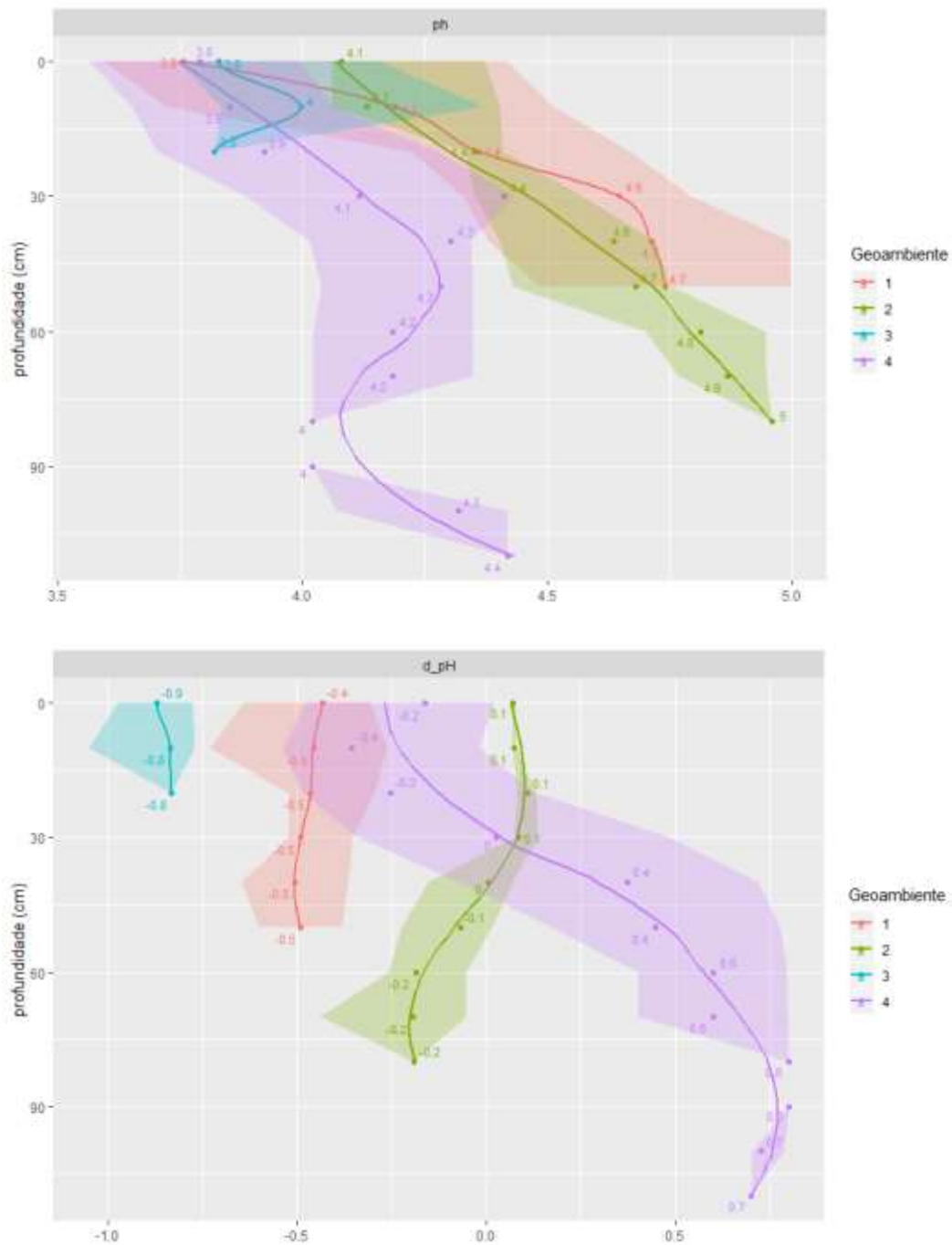


Figura 10. Valores de pH e nos geoambientes estudados e sua relação com a profundidade. (1 – Capão Florestal; 2 - Mata de Encosta; 3 – Campo Rupestre e 4 – Cavidades Naturais Subterrâneas).

Os valores de COT são elevados em superfície na maioria dos solos estudados, alcançando seu valor máximo (28 dag.kg⁻¹) nos Campos Rupestres Ferruginosos, seguido da Mata de Encosta, Capões Florestais e Cavernas (Fig 11).

Esses valores elevados de M.O são justificados pela pobreza química que limita a atividade microbiana e decomposição da matéria orgânica e toxidez por alumínio. Há também a formação de complexos organominerais estáveis com íons Al³⁺, regime de fogo, que acumula *black-carbon* devido à combustão incompleta do material orgânico potencializando sua preservação. A atividade de térmitas também contribui para o aumento de carbono, já que estes concentram material orgânico na construção de seus montículos nos Campos Rupestres Ferruginosos (SCHAEFER *et al.* 2016a; SCHAEFER *et al.* 2015).

Já nos geoambientes florestados a serapilheira foi o principal responsável pelo aporte de matéria orgânica. Nas Cavernas Naturais o aporte de matéria orgânica é principalmente devido ao guano de quirópteros sendo essa preservada devido ao isolamento e regime de umidade em seu interior. Como constatado por CORRÊA *et al.* (2016), ao se considerar a realidade Amazônica os valores de matéria orgânica dos solos estudados são elevados em comparação aos perfis de solos bem drenados da Amazônia (BRASIL, 1974, 1975, 1976). Como a deposição da matéria orgânica pela atividade biológica é superficial, os valores decrescem com a profundidade, diminuição acompanhada pelos valores de SB, CTC efetiva e saturação de bases, o que indica a importância da matéria orgânica na geração de cargas negativas.

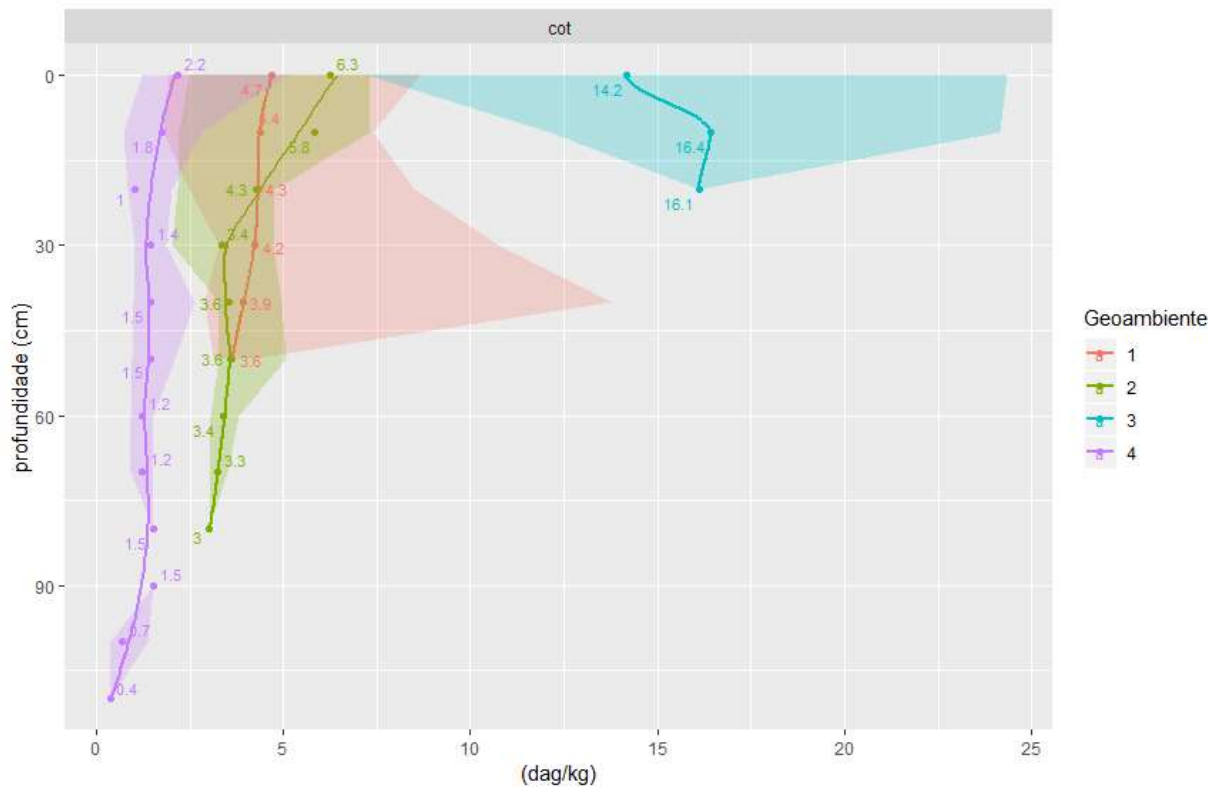


Figura 11. Valores de Carbono Orgânico Total (cot) estudados e sua relação com a profundidade. (1 – Capão Florestal; 2 - Mata de Encosta; 3 – Campo Rupestre e 4 – Cavidades Naturais Subterrâneas).

Apesar dos baixos teores de Al_2O_3 nos jaspilitos da Formação Carajás (0,1% - 1,5%) os solos estudados apresentaram teores elevados de alumínio trocável e saturação por alumínio (Fig. 12) (LINDENMAYER *et al.* 2001). A concentração de alumínio nos solos de Carajás está relacionada com o grau de intemperismo elevado, que concentrou gibbsita, como indicam CORRÊA *et al.* (2016), que propôs que nos solos da Formação Carajás o avanço da pedogênese degrada preferencialmente os minerais cristalinos de ferro, aumentando relativamente a formação de óxidos de alumínio. Com a acidificação do solo, parte desse alumínio torna-se solúvel.

O clima da região de Carajás pode também explicar o acúmulo de alumínio, pois o processo de pedogênese em clima úmido favorece a estabilidade da gibbsita e goethita, com alta substituição de Fe por alumínio nos solos (SIFEDINA *et al.* 2001; CORRÊA, 2011). Além disso o intemperismo da Canga em Carajás, principalmente as de natureza ferro-aluminosas, originaram cangas detríticas que acumularam no arcabouço argiloso material aluminoso, em

destruição da remoção preferencial de ferro e deposição de gibssita, preenchendo e revestindo os poros das cangas. Ao serem intemperizados, originam solos ricos em alumínio (COSTA, 1991; MAURITY & KOTSCHOUBEY, 1995). Outra fonte de alumínio nos solos é a dessilificação do mineral caulinita e os elevados valores de material orgânico. Ao ser intemperizado a caulinita torna-se a principal fonte de liberação de alumínio para a solução do solo, enquanto a matéria orgânica atua no processo de complexação destes íons Al^{3+} regulando sua disponibilização (VANCE, 1996; RIBEIRO, 2009; CORRÊA, 2011). Esses mecanismos citados, em conjunto, são responsáveis pelos valores observados de alumínio nos solos estudados, já que os materiais de origem são relativamente pobres em Al.

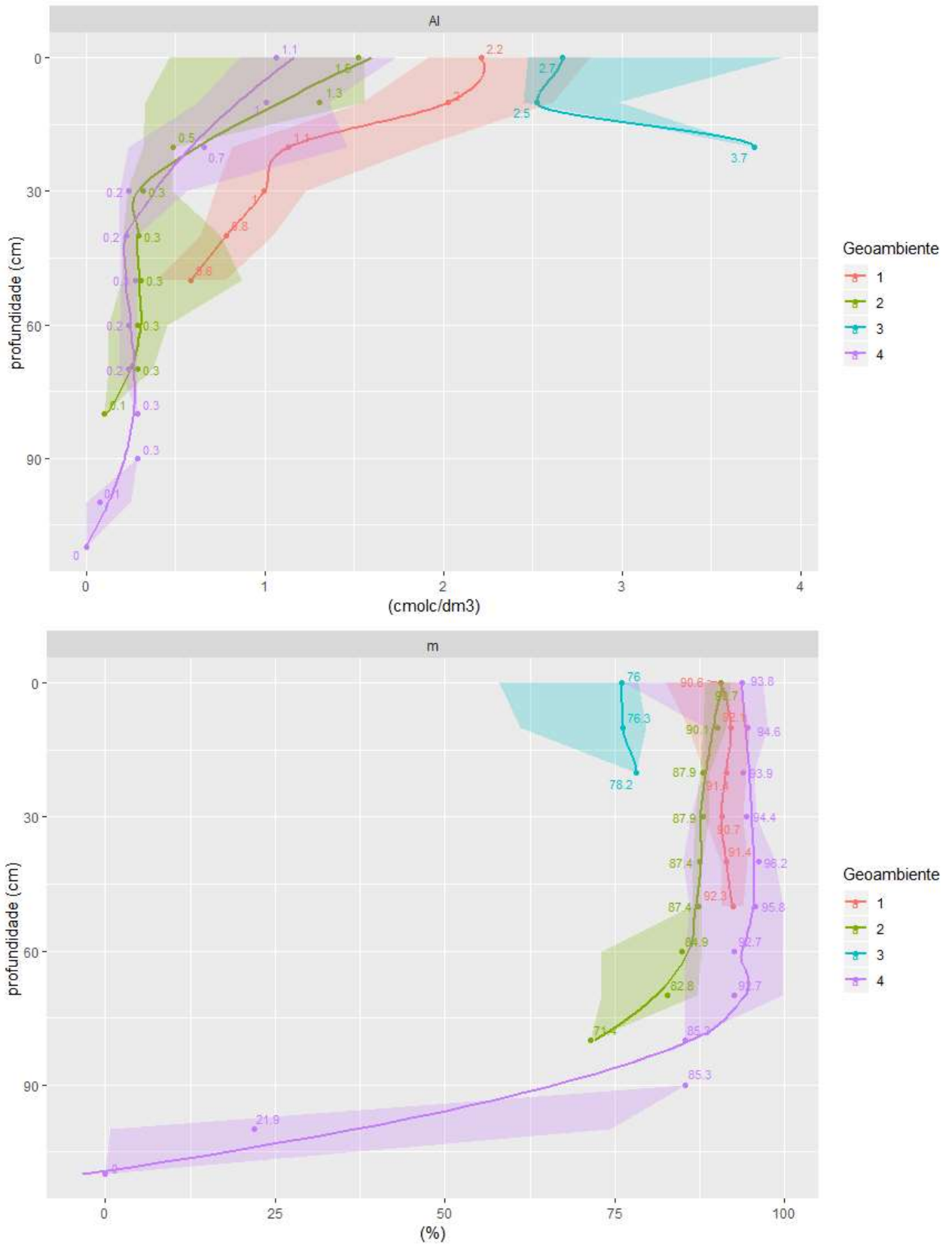


Figura 12. Valores de Alumínio trocável (Al) e Saturação por alumínio (h_{al}) estudados e sua relação com a profundidade. (1 – Capão Florestal; 2 - Mata de Encosta; 3 – Campo Rupestre e 4 – Cavidades Naturais Subterrâneas).

Os teores de Fósforo (Mehlich 1) foram muito distintos nos geoambientes estudados, com teores significativamente superiores no interior das Cavidades Naturais com valores que alcançaram 2.448,6 mg/dm³ de P (P₃). O Fósforo é proveniente da deposição do guano de quirópteros no interior das cavernas, reforçando o papel ecológico fundamental das cavernas de Carajás, já apontado por outros autores (Fig. 13) (MAURITY & KOTSCHOUBEY, 1995; NUNES, 2009; SCHAEFER *et al.* 2012; ; ALBURQUERQUE *et al.* 2015; VIANA, 2016; ALBURQUERQUE *et al.* 2017; ALBURQUERQUE *et al.* 2018; FIGUEIRA *et al.* 2019). A diminuição dos teores de Fósforo em profundidade reforça a origem biogênica desse elemento, que se dá a partir da deposição superficial do guano. Portanto é possível afirmar que as Cavernas são grandes *hotspots* de Fósforo no ambiente com solos distróficos ricos em ferro mais empobrecidos da Amazônia em Carajás.

Nos demais geoambientes o aporte de Fósforo é proveniente da ciclagem da matéria orgânica a partir da remobilização e redistribuição do Fósforo do interior da cavidade para a adjacência, evidenciado pela alta densidade de raízes observada no interior das cavernas. Os valores de P elevados para o geoambiente da Mata de Encosta são devido ao transporte de sedimentos do interior da caverna para fora, distribuído na vertente florestada.

Alguns autores considerarem fatores diversos como litológicos, estruturais, hidrológicos (hidrogeológicos), estratigráficos, de abatimento e “Rocha seladora” (MAURITY & KOTSCHOUBEY, 1992; MAURITY & KOTSCHOUBEY, 1994; CABRAL *et al.* 2016; ABREU *et al.* 2016) na gênese das cavidades em Carajás. Com base no presente estudo, torna-se evidente o papel dos agentes biológicos, como microorganismos redutores de ferro, mas principalmente o guano de quirópteros (MAURITY & KOTSCHOUBEY, 1995; PARKER *et al.* 2013; ALBUQUERQUE *et al.* 2017), além de toda a comunidade de bioturbantes, ainda pouco estudados. Os quirópteros a partir da deposição de guano e consequente fosfatização nas Cavernas devem ser considerados agentes bioespeleogênicos tendo um papel de grande importância na gênese e evolução das cavidades de Carajás.

A perda de Fósforo por volatilização do guano, conforme FIGUEIRA *et al.* (2019) variam de 8,82% a 13,24% de P_2O_5 . Os valores mais elevados nos Campos Rupestres Ferruginosos se devem à maior adsorção dos fosfatos nos solos de canga sem aporte de guano, revelando sua natureza oxidica menos (NUNES *et al.* 2016; SCHAEFER *et al.* 2016b). A natureza fortemente oxidica dos solos de Carajás e seu alto grau de intemperismo potencializam o processo de adsorção de fosfatos no solo, o que explica a diminuição dos valores de P-Rem nos solos mais argilosos e desenvolvidos.

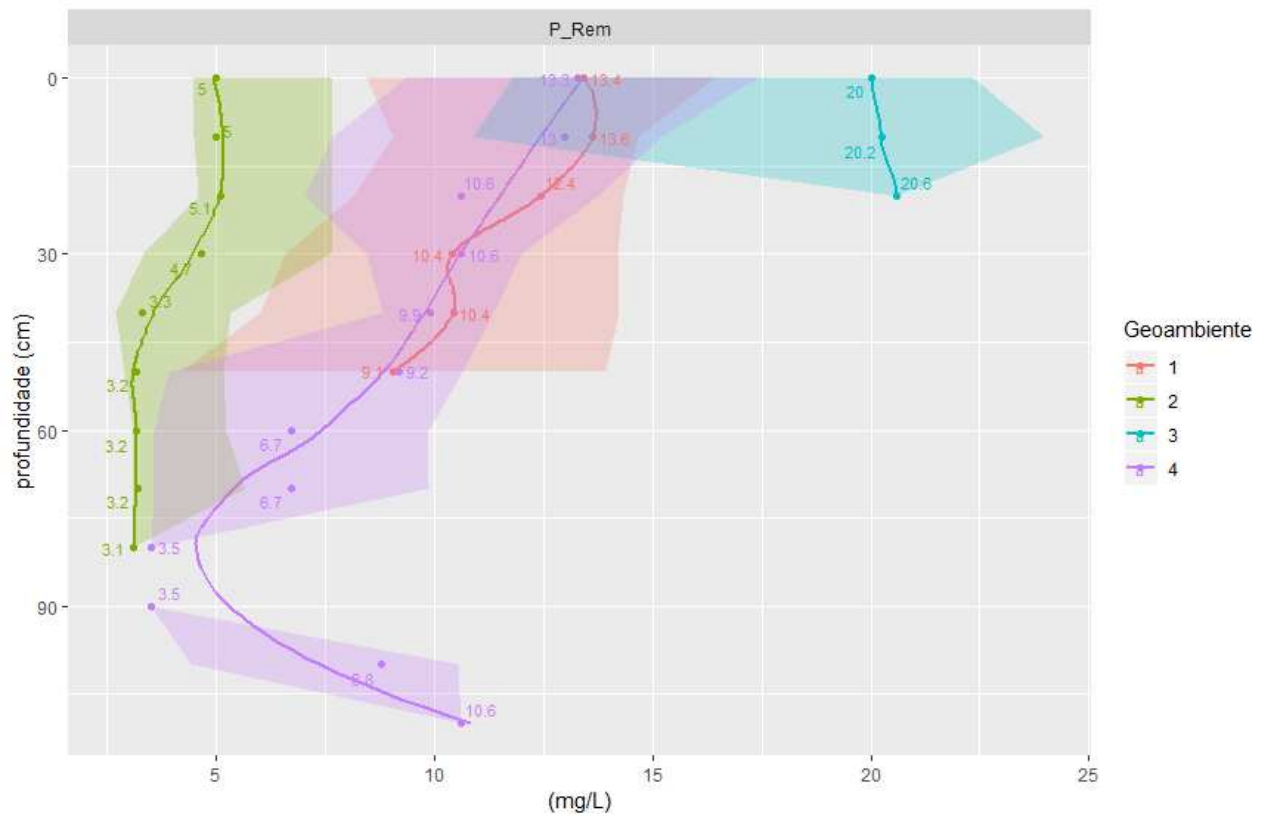
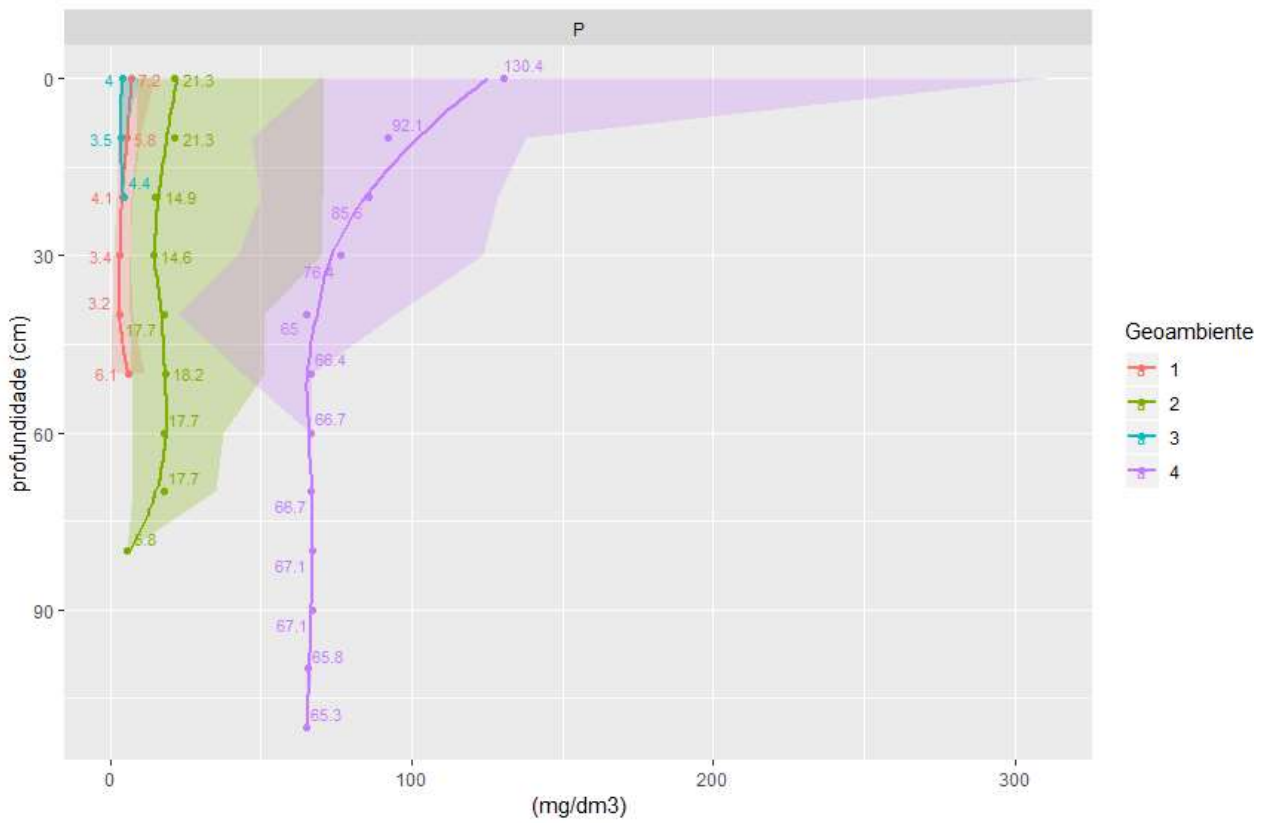


Figura 13. Valores de Fósforo Mehlich-1 (P) e Fósforo remanescente (P_Rem) estudados e sua relação com a profundidade. (1 – Capão Florestal; 2 - Mata de Encosta; 3 – Campo Rupestre e 4 – Cavidades Naturais Subterrâneas).

Os valores de nitrogênio seguiram o mesmo padrão dos teores de COT nos geoambientes (Fig. 14). O COT foi alto os teores de nitrogênio também foram elevados indicando que a disponibilização de nitrogênio é controlada pela atividade microbiológica. Apesar dos teores de nitrogênio nos perfis com guano alcançarem valores próximos aos da Mata de Encosta em superfície, a volatilização da amônia contribui significativamente para a diminuição dos teores de nitrogênio indicando a rápida ciclagem desse elemento no ambiente cavernícola (HUTCHINSON, 1950). Os teores de nitrogênio nos solos foram semelhantes aos encontrados por RIBEIRO (2009), com exceção dos solos orgânicos, onde os teores foram significativamente mais elevados.

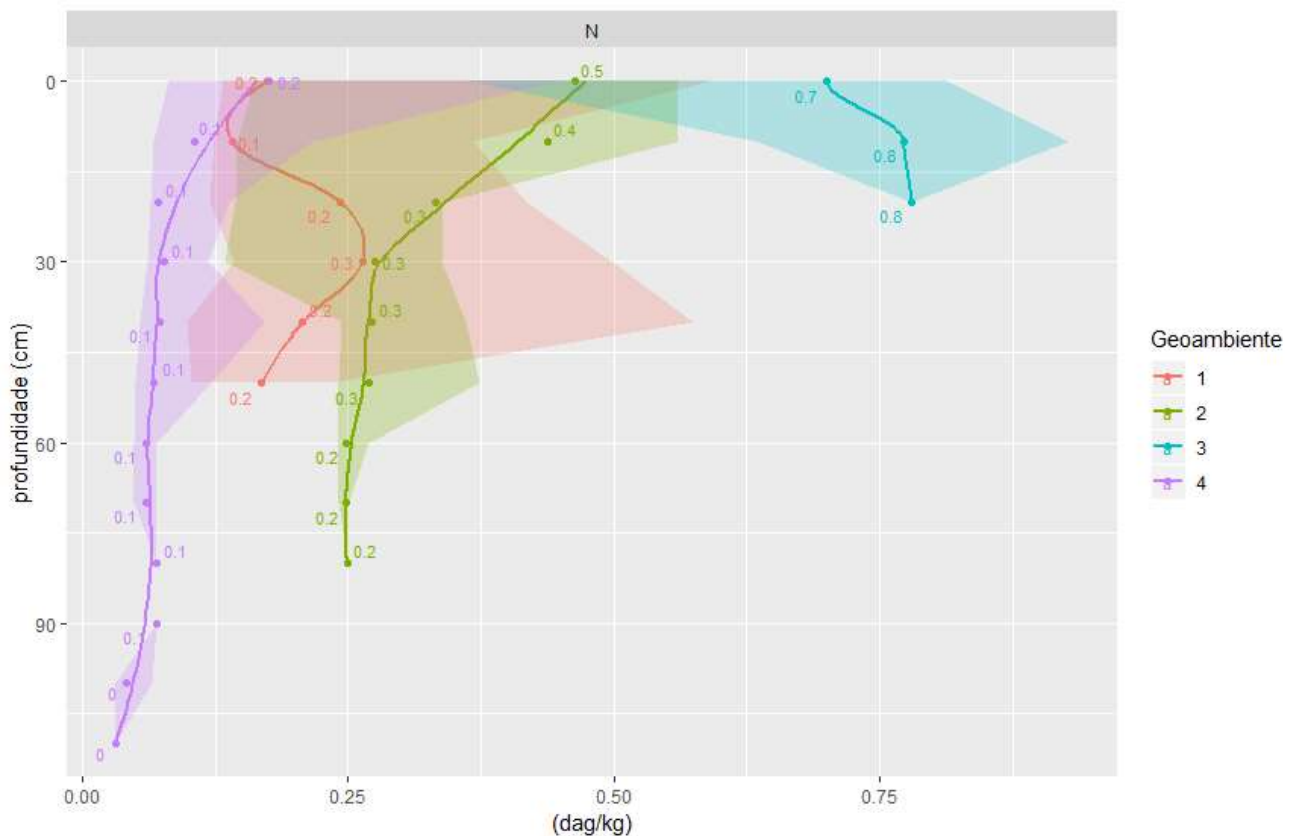


Figura 14. Valores de Nitrogênio (N) estudados e sua relação com a profundidade. (1 – Capão Florestal; 2 - Mata de Encosta; 3 – Campo Rupestre e 4 – Cavidades Naturais Subterrâneas).

Os teores de ferro extraível em todos os solos estudados foram elevados devido ao material de origem dos solos (Canga e Jaspilito), naturalmente ricos em ferro (Fig 15) (LINDENMAYER *et al.* 2001; CORRÊA *et al.* 2016; SCHAEFER *et al.* 2016a). A mobilização de ferro é intensa em todos os solos, devido à variação sazonal do lençol freático que permite a oxi-redução do ferro em diferentes escalas. Os valores de manganês foram relativamente elevados, sendo inferiores aos solos descritos por CORRÊA *et al.* (2016), e são atribuídos ao material de origem, com valores mais elevados nos geoambientes da Mata de Encosta e Campos Rupestres Ferruginosos acompanhando os teores de COT. Nas Cavidades Naturais os teores de Mn foram baixos, apesar do aporte de guano.

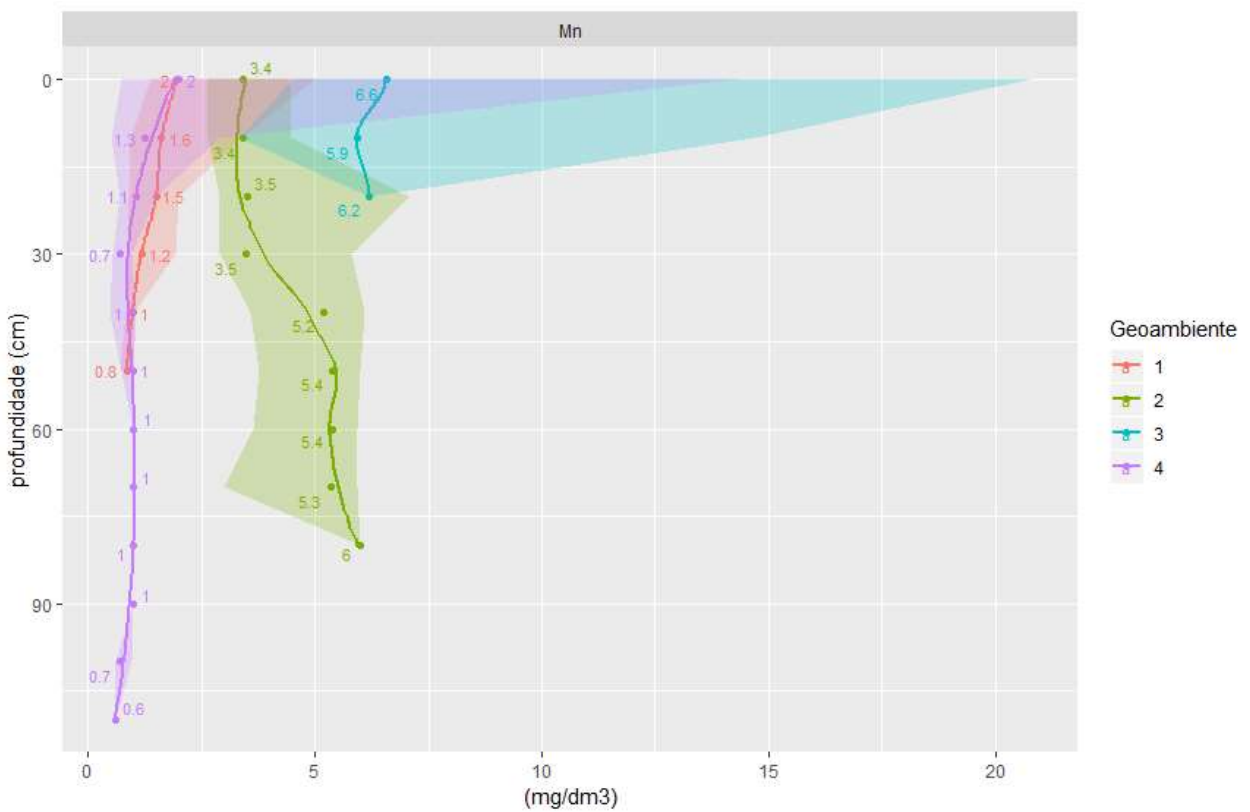
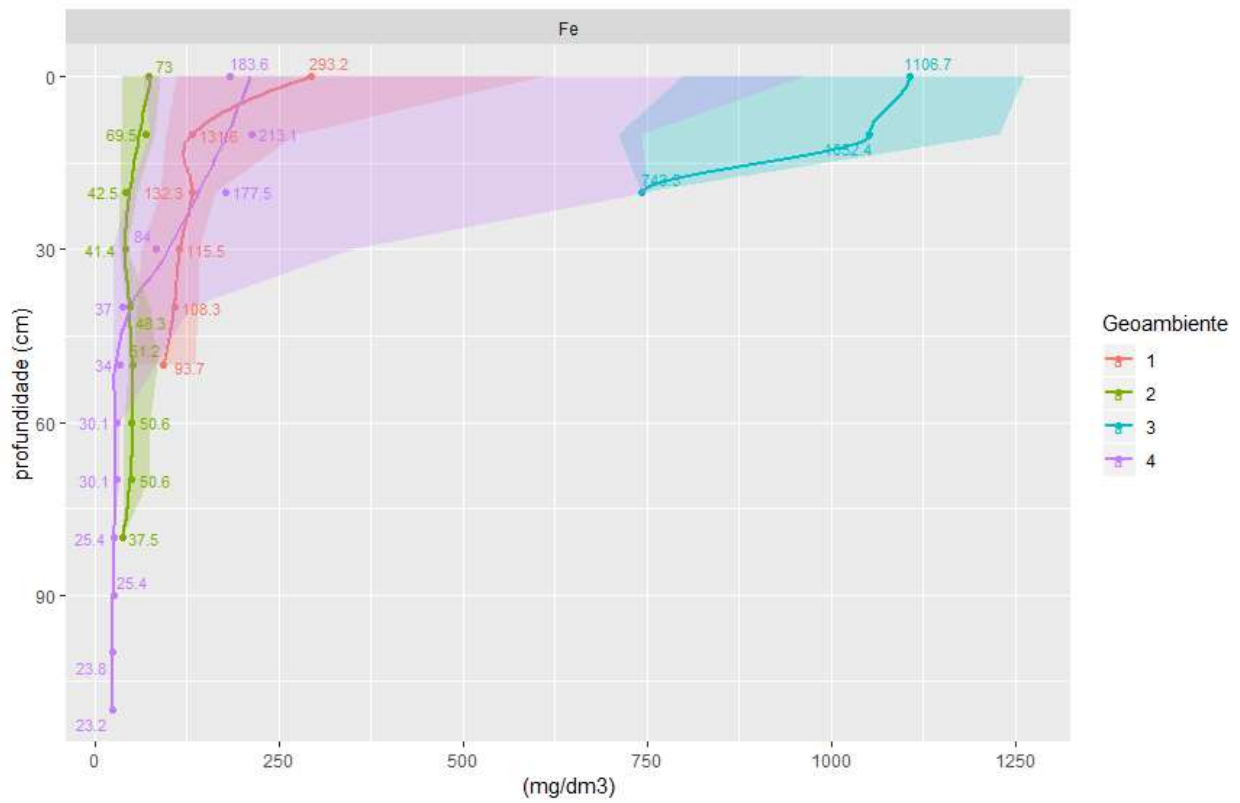


Figura 15. Valores de Ferro (Fe) e Manganês (Mn) e sua relação com a profundidade. (1 – Capão Florestal; 2 - Mata de Encosta; 3 – Campo Rupestre e 4 – Cavidades Naturais Subterrâneas).

Os teores de Cobre nos solos estudados foram superiores na Mata de Encosta e nas Cavidades Naturais, mas com valores em geral baixos. Os teores de cobre são incrementados pela deposição de guano na cavidade, e sua redistribuição nas encostas, os valores de Zinco foram baixos para todos os solos estudados, como reflexo da pobreza desse mineral no Jaspilito (CORRÊA, 2011), mas seus valores foram elevados aonde há guano, indicando sua associação com o guano. (Fig 16).

A soma de bases (Sódio, Cálcio, Magnésio) foram muito baixos em todos solos, refletindo nos baixos valores de CTC (Fig 17). Superficialmente esses teores são ligeiramente maiores devido à ciclagem rápida. A pobreza de bases em geral é em decorrência do material de origem pobre nesses elementos e ao intemperismo intenso dos solos de Carajás. Assim como constatado por RIBEIRO (2009), os valores de Ca e Mg foram praticamente zero, refletindo a acentuada distrofia dos solos e valores de saturação por bases reduzidos (V), tendo ligeiro aumento onde a ciclagem é mais intensa, como nos Campos Rupestres Ferruginosos. Os valores de CTC efetiva (t) e CTC à pH = 7,0, também foram baixos em consequência dos baixos valores de V e SB. Esses foram ligeiramente elevados nos Campos Rupestres Ferruginosos e nos Capões indicando também uma maior ciclagem nesses geoambientes em relação aos demais (Fig 18). Nas cavidades alguns perfis (P3 e P9) revelaram valores de potássio muito elevados ($6.000,00 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ e $215 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ respectivamente), indicando que o guano é uma rica fonte de potássio.

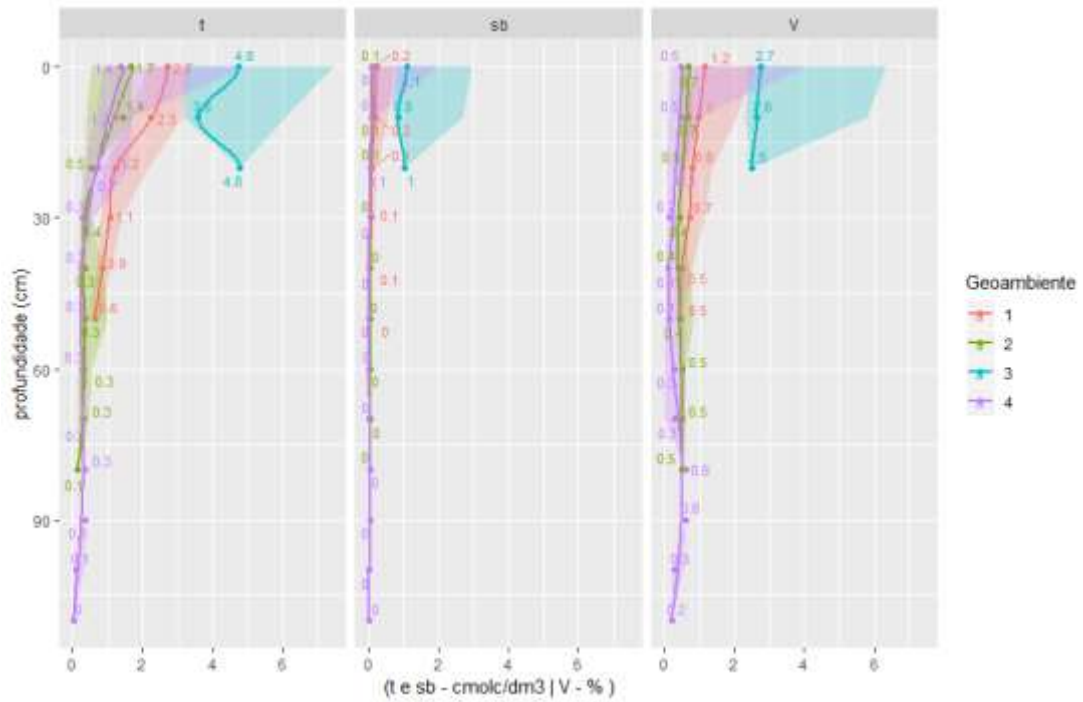


Figura 16. Valores de CTC efetiva (t), Soma de Bases (SB) e Saturação por Bases (SB) e sua relação com a profundidade dos solos. (1 – Capão Florestal; 2 - Mata de Encosta; 3 – Campo Rupestre e 4 – Cavidades Naturais Subterrâneas).

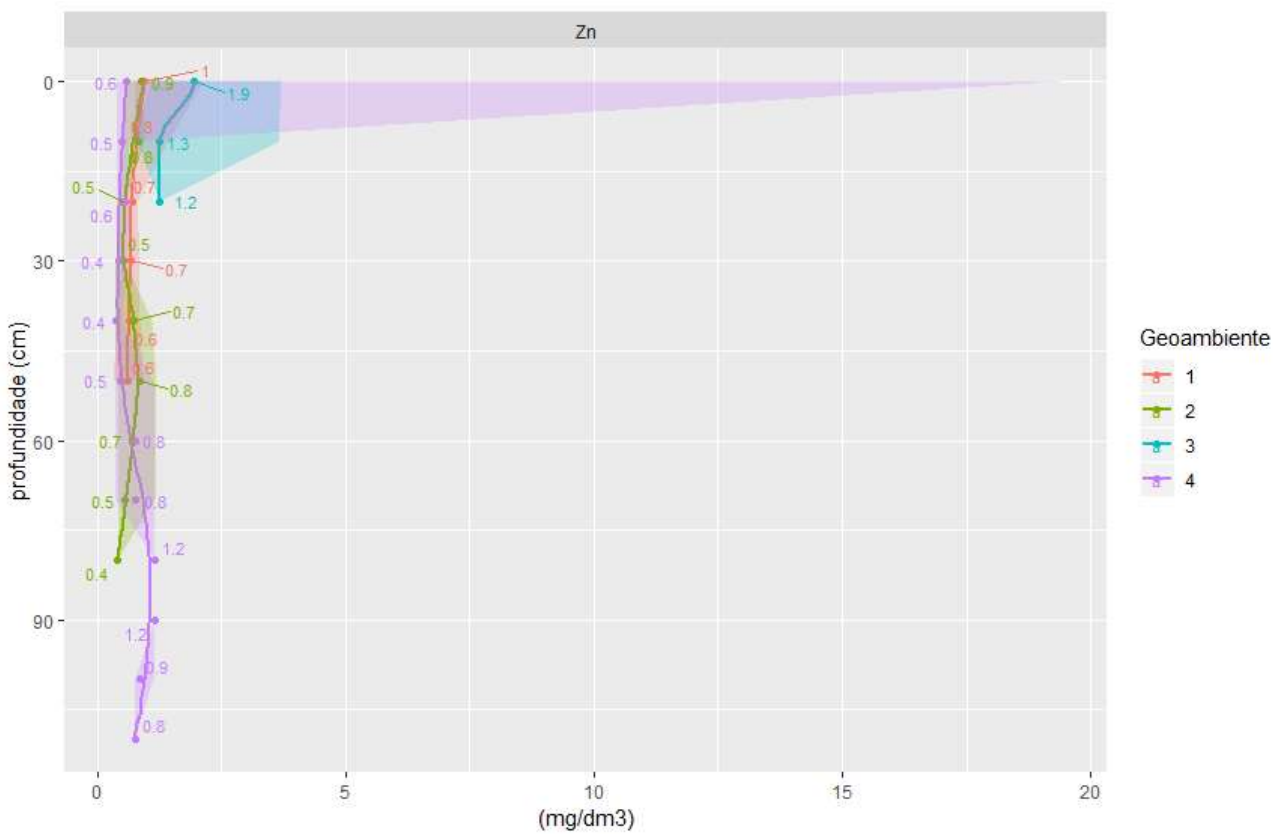
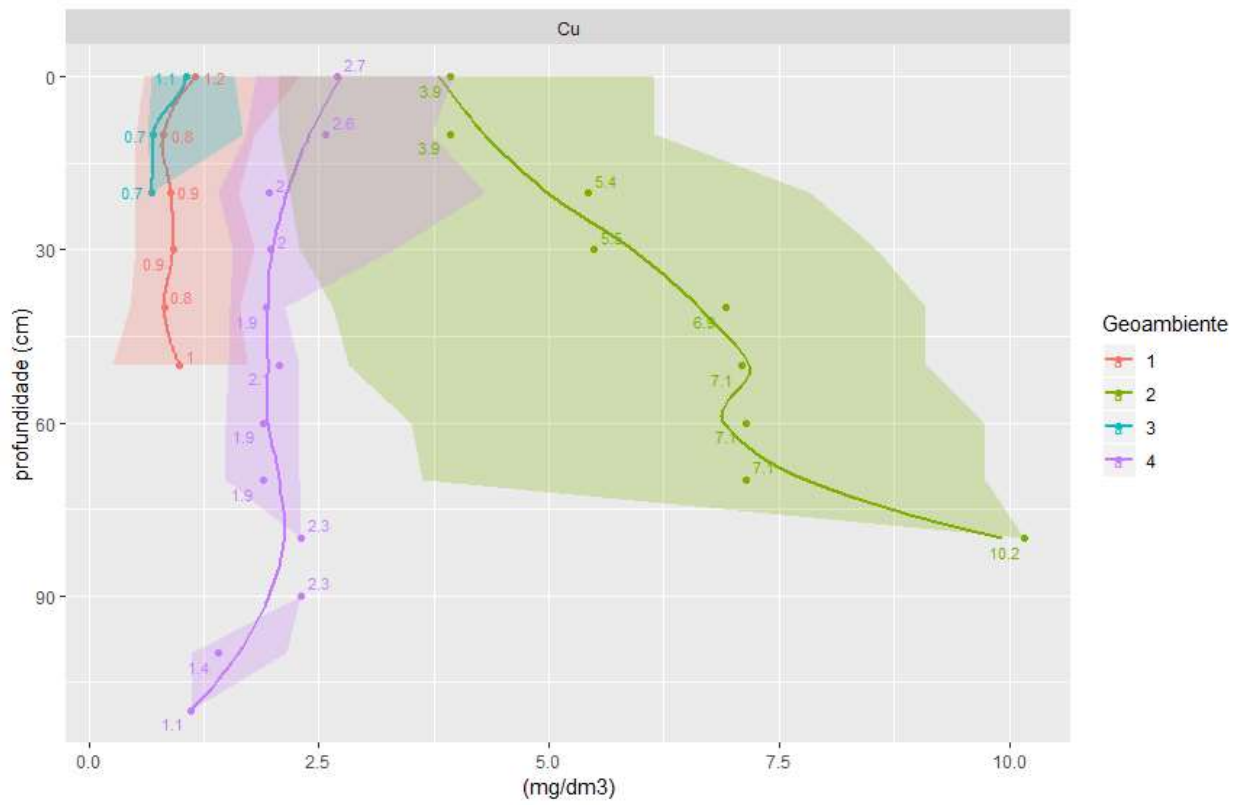


Figura 17. Valores de Cobre (Cu) e Zinco (Zn) e sua relação com a profundidade. (1 – Capão Florestal; 2 - Mata de Encosta; 3 – Campo Rupestre e 4 – Cavidades Naturais Subterrâneas).

Em relação aos valores de metais pesados, Cádmio e Cromo foram muito baixos, mas os valores de Chumbo e Níquel foram mais elevados, corroborando com valores encontrados em outros estudos (Fig. 19) (CORRÊA *et al.* 2016, SCHAEFER *et al.* 2016b). Apesar do Pb ser um elemento pouco móvel no ambiente o baixo pH dos solos estudados intensifica sua mobilização. O chumbo está em maior quantidade nos Capões florestais, porém no interior da cavidade a diminuição do pH com a profundidade potencializa a liberação de íons Pb^{2+} principalmente nos perfis 6 e 7, indicando concentração pelo guano, e possível retenção nos fosfatos secundários formados.

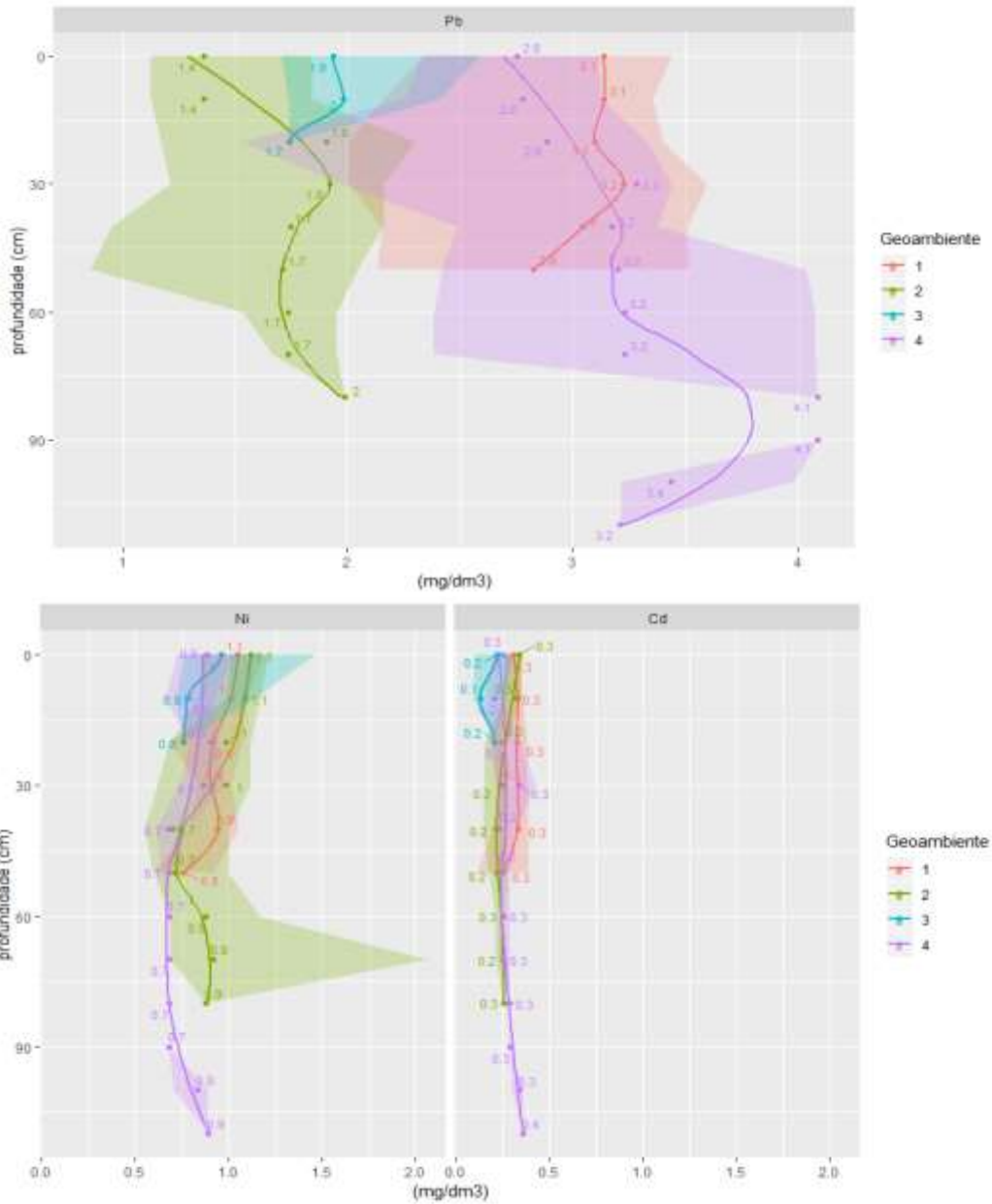
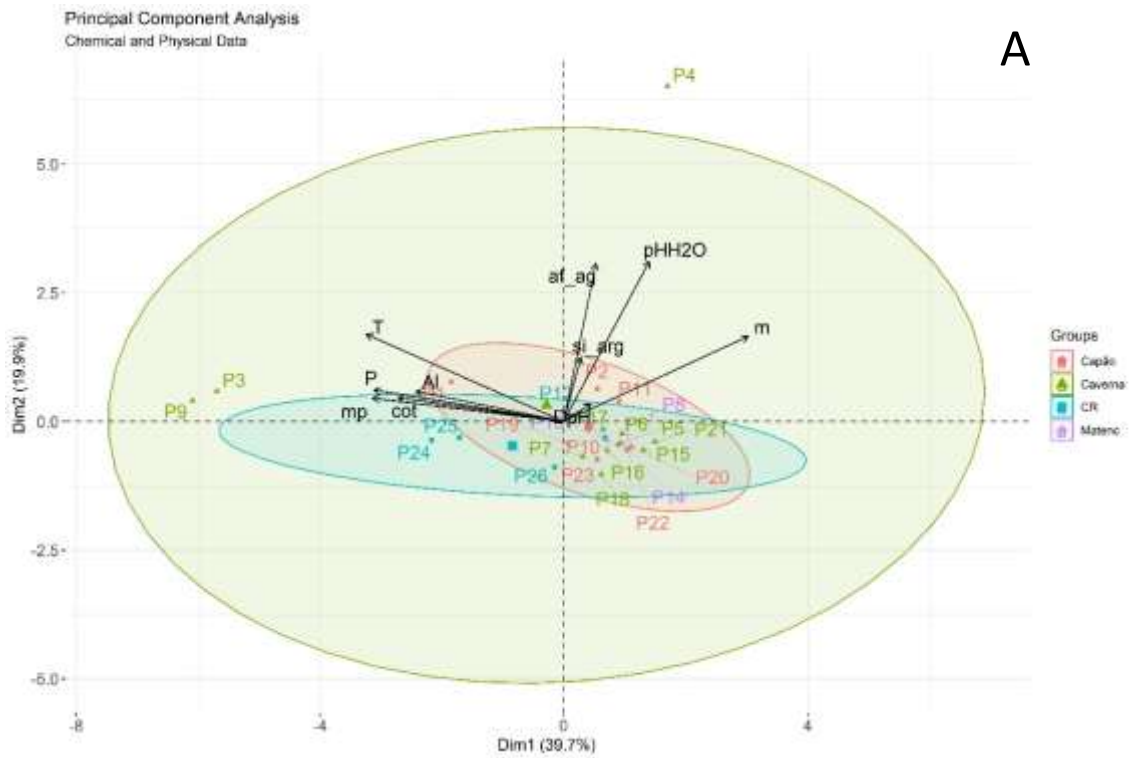


Figura 19. Valores de Chumbo (Pb), Níquel (Ni) e Cádmiio (Cd) e sua relação com a profundidade. (1 – Capão Florestal; 2 - Mata de Encosta; 3 – Campo Rupestre e 4 – Cavidades Naturais Subterrâneas).

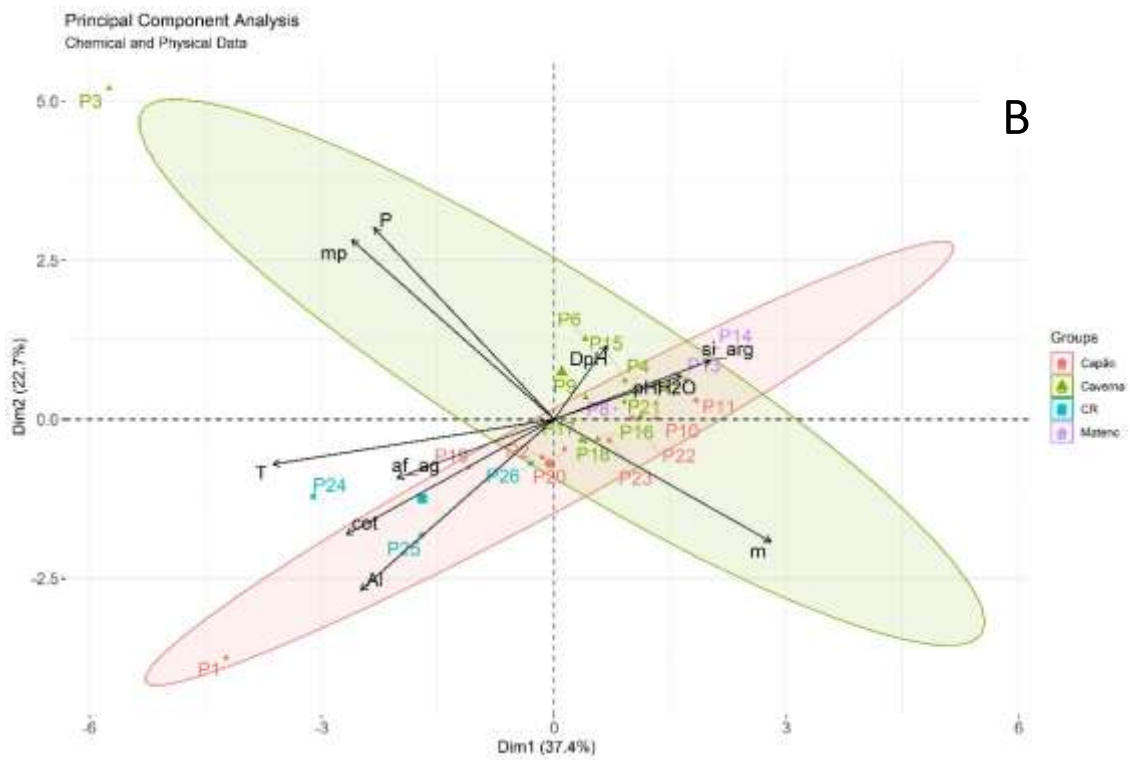
Análise de Componentes (ACP) Principais e Similaridade

A ACP para os horizontes superficiais (A e AB) e subsuperficiais (B e BC) explicaram 59,6% e 60,1% da variação dos valores dos atributos dos solos respectivamente (Fig 20). Solos das Cavidades Naturais, Mata de Encosta e Capão Florestal tiveram uma correlação alta, com teores mais expressivos de silte e argila, staruação por alumínio e valor de ΔpH e pH (H₂O) superiores. Os solos com valores de P (Mehlich-1) e metais pesados relativamente mais elevados ocorreram nas Cavidades Naturais, principalmente em superfície, confirmando a influência da deposição de guano no aporte desses elementos na cavidade. Os perfis de solos de Campos Rupestres Ferruginosos foram separados claramente, são solos mais arenosos com teores relativos maiores de COT, Al³⁺ e T. Os Capões Florestais refletiram a transição entre os geoambientes estudados, observado pela maior dispersão dos perfis na ACP.

A análise de similaridade separadou os geoambientes no mesmo padrão de agrupamento observado na ACP. A separação dos atributos dos solos foi clara também para cada área estudada, com solos dos Capão, Mate de Encosta e Cavidades Naturais de N1 nitidamente separados em superfície, semelhantes à N4 em subsuperfície (Fig 21).



A



B

Figura 20. Análise de componentes principais dos dados físicos e químicos dos geoambientes estudados em superfície (A) e nos horizontes subsuperficiais (B).

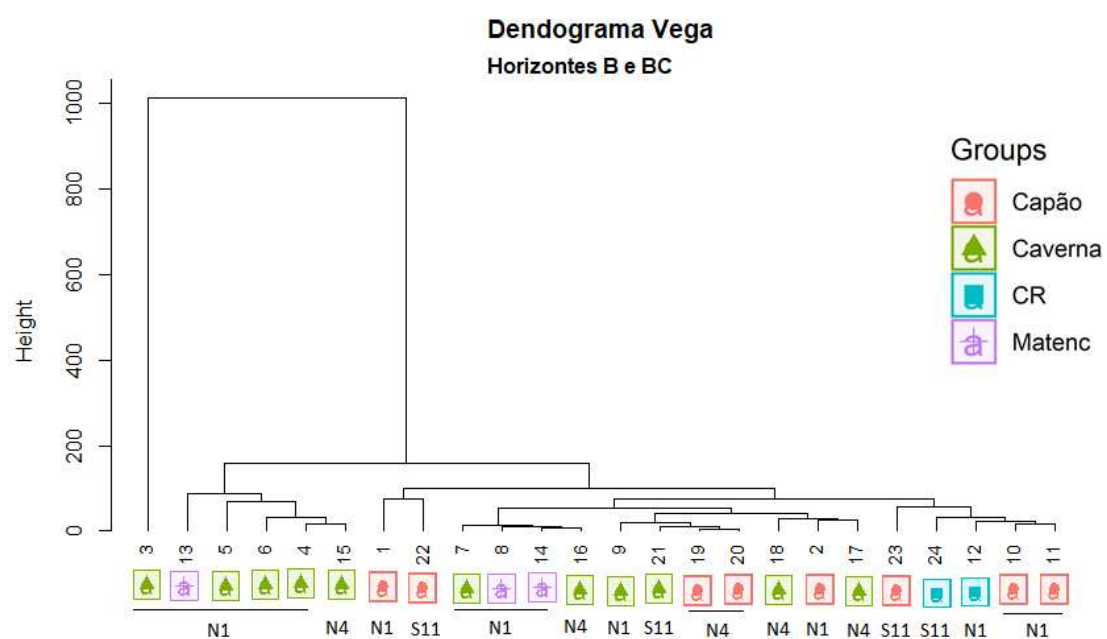
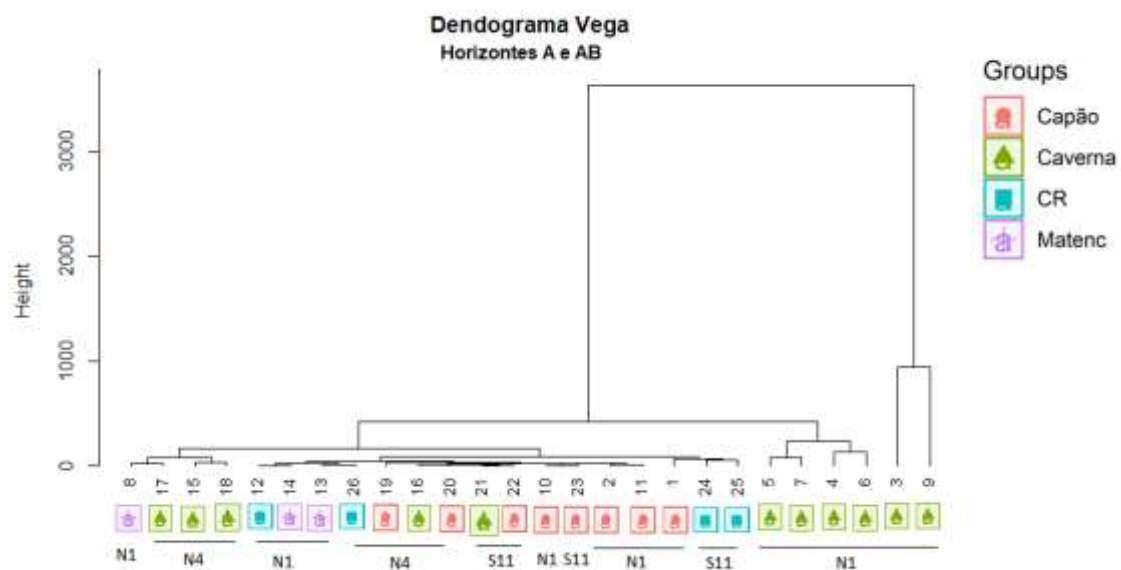


Figura 21. Dendograma da análise de similaridade dos atributos físicos e químicos dos solos em superfície (A e AB) e subsuperfície (B e BC), separados por área e geoambientes estudados.

Mineralogia da Fração Argila

A análise mineralógica dos perfis estudados indicou a predominância de uma mineralogia oxídica para todos os solos estudados em todos geoambientes, refletindo a influência do material de origem (Canga ou Jaspilito) e alto grau de intemperismo desses solos. Os minerais identificados e seus picos primários nesse estudo foram a Hematita (0,27), Maghemita (0,25), Goethita (0,43), Lepidocrocita (0,62), Anatásio (0,36), Rutilo (0,32), Ilmenita (0,27), Gibbsita (0,48), Leucofosfita (0,67), Esfeniscidita (0,60), Strengita (0,43), Fosfosiderita (0,43) e Vermiculita (1,40), mineral 2:1. Desses minerais identificados a Lepidocrocita e os minerais fosfáticos foram registrados pela primeira vez nos solos de Carajás (RIBEIRO, 2009; SCHAEFER *et al.* 2016a; CORRÊA, 2011; CORRÊA *et al.* 2016, SCHAEFER *et al.* 2016b). Os difratogramas foram divididos por geoambiente (Figuras 22, 23, 24 e 26).

Geoambiente	Perfis de Solo	Minerais Identificados
Capão Florestal	P1, P2, P10, P19, P22	Gt, An, Ru, Im, Lep, Mh e Hm
Mata de Encosta/Floresta Ombrófila Aberta	P8, P14	Gb, Gt, An, Ru, Lep Mh e Hm
Campo Rupestre Arbustivo	P12, P26	Gt, An, Ru, Im, Lep, Mh e Hm
Campo Rupestre Aberto	P24	Gt, An, Ru, Lep, Mh e Hm
Cavidades Naturais Subterrâneas	P3, P4, P6, P7, P17, P18, P21	VHE, Lc/Sph, Str/Phs, Gb, Gt, An, Ru, Lep, Im, Mh e Hm

Tabela 10. Minerais identificados nos perfis de solo e sua relação com os Geoambientes (VHE – Vermiculita com hidróxi entre camadas, Lc – Leucofosfita, Sph – Esfeniscidita, Str – Strengita, Phs – Fosfosiderita, Gb – Gibbsita, Gt – Goethita, An – Anatásio, Ru – Rutilo, Lep – Lepidocrocita, Im – Ilmenita, Mh – Maghemita e Hm – Hematita).

A análise dos Difratogramas de Raio X da fração argila indicaram a presença da Hematita, Maghemita, Goethita, Anatásio, Rutilo e Lepidocrocita em

todos perfis identificados. A origem desses minerais está associada a composição química do material de origem (Fe_2O_3 – 57,46%, TiO_2 – 0,05%) (LINDENMAYER *et al.* 2001; ALBURQUERQUE *et al.* 2015; VIANA, 2016; ALBURQUERQUE *et al.* 2018; FIGUEIRA *et al.* 2019). A presença da Maghemita foi também inferida pela intensidade relativa dos reflexos 0,25, mesmo reflexo para hematita, além do reflexo de 0,29, esse mineral foi também notado a partir da forte atração magnética da TFSA ao ímã nos solos estudados (FEY & LE ROUX, 1977). Nos solos bem drenados, fora das cavidades, os reflexos para Hematita, Maghemita foram mais intensos do que os da Goethita, enquanto no interior das cavidades os picos de Goethita foram relativamente mais acentuados.

A Hematita, Goethita e Maghemita foram indicados por COSTA (1991) como minerais mais importantes dos horizontes ferruginosos em Carajás. A Lepidocrocita é um óxido de ferro hidratado que está intimamente relacionado à locais ricos em minério de ferro, sendo formado a partir do intemperismo de minerais de ferro primários desses depósitos. Nos solos que apresentam condições redutoras como os de Carajás esse mineral apresenta coloração laranja-amarelada (COSTA & BIGHAM, 2009). Teve ocorrência em todos geoambientes, não sendo identificado apenas no Capão Florestal da cavidade N1-0174.

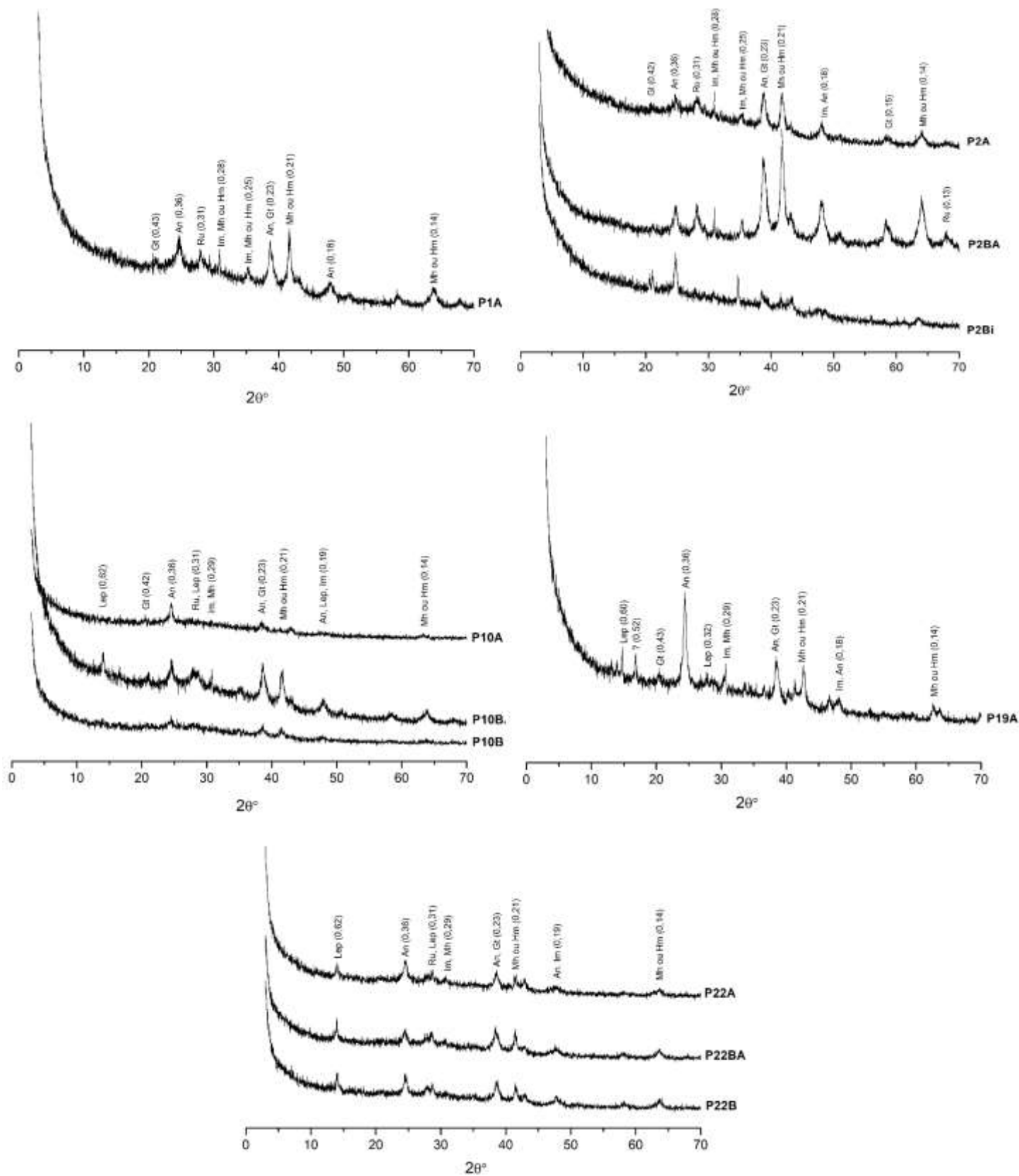


Figura 22. Mineralogia dos perfis de solo do geambiente dos Capões Florestais (P1, P2, P10, P19 e P22), picos em nm.

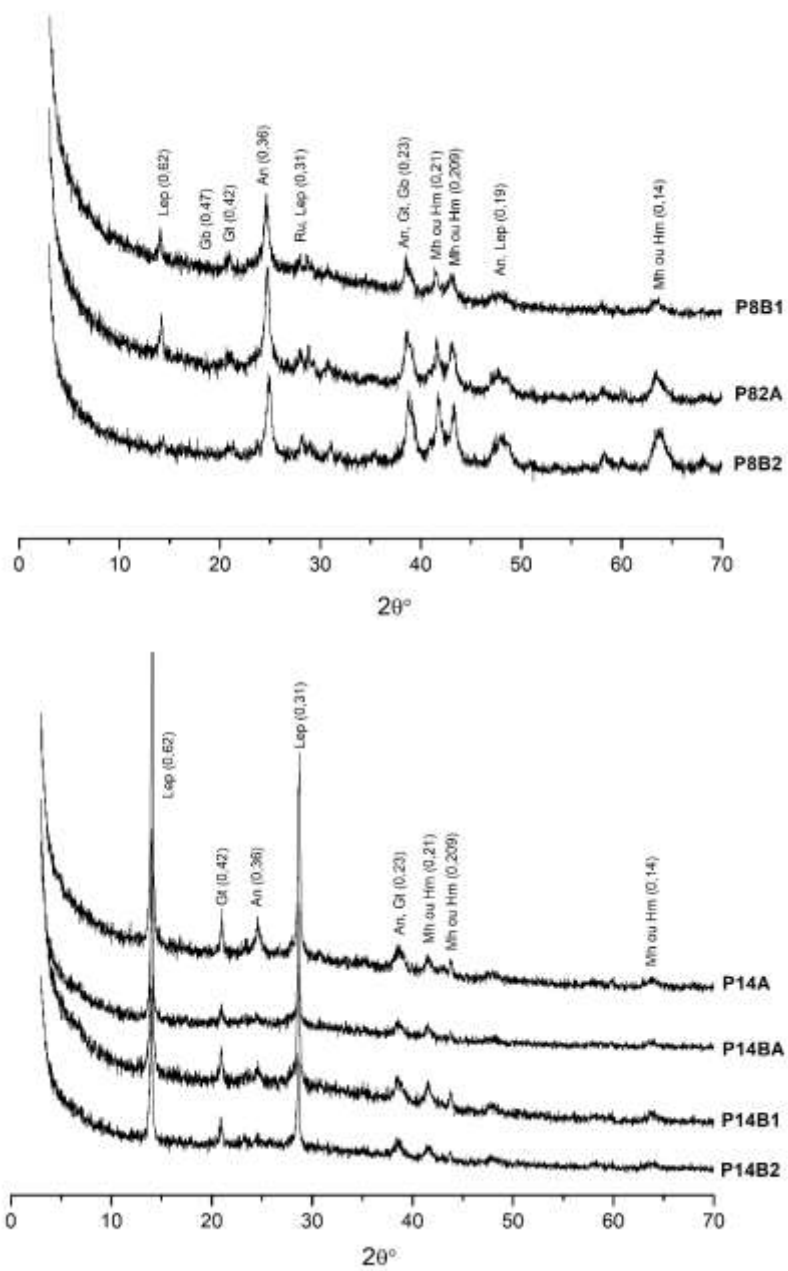


Figura 23. Mineralogia dos perfis de solo do geambiente da Mata de Encosta/Floresta Ombrófila Aberta (P8 e P14), picos em nm.

A presença de Anatásio está relacionada ao intemperismo da Ilmenita, ou processo de oxidação do mineral (KER, 1995; SCHAEFER *et al.* 2008b). De acordo com CORRÊA (2011), os teores totais de Ti nos solos de Carajás são altos e relevantes para a formação desses minerais, e estão associados à maior perda de Fe e Mn, ou seja, áreas com pedoclima mais úmido, como ocorre no interior das cavidades e em sua vizinhança devido a presença da vegetação e microclima gerado pelo ambiente cavernícola. A Ilmenita não ocorreu nos solos mais bem desenvolvidos (P6, P7, P8, P14), tendo ocorrido nos geoambientes dos Capões Florestais, Cavidades Naturais Subterrâneas, e Campos Rupestres Ferruginosos Arbustivos, fato este reforça a gênese dos óxidos de titânio a partir desse mineral. Cabe citar que a intensidade dos picos de reflexão para o Anatásio foram intensas em praticamente todos solos estudados (0,35 e 0,36), estando concentrado na fração argila.

A Gibbsita foi identificada em diversos perfis de solo (P3, P6, P7, P8, 14, P21), mas em função da presença de óxidos de ferro, que mascaram os picos da gibbsita sua reflexão foi pouco pronunciada. Esse processo de inibição da cristalização da Gibbsita aumenta nos solos de acordo com a concentração de íons estranhos e de ânions orgânicos e com o decréscimo do pH na solução do solo (VIOLANTE & VIOLANTE, 1980; HUANG & VIOLANTE, 1986; HSU, 1989). A presença da matéria orgânica retarda o processo de cristalização do mineral e pode até mesmo inibir completamente sua cristalização devido à complexação do Al pela matéria orgânica, que impede sua hidroxilação completa. Os solos estudados apresentam em geral teores de matéria orgânica elevados devido ao aporte de MO pela vegetação e pelo guano dos Quirópteros, e pH muito baixo, o que explica a baixa cristalinidade da Gibbsita, e sua participação menor (KODAMA & SCHNITZER, 1980; SINGER & HUANG, 1990).

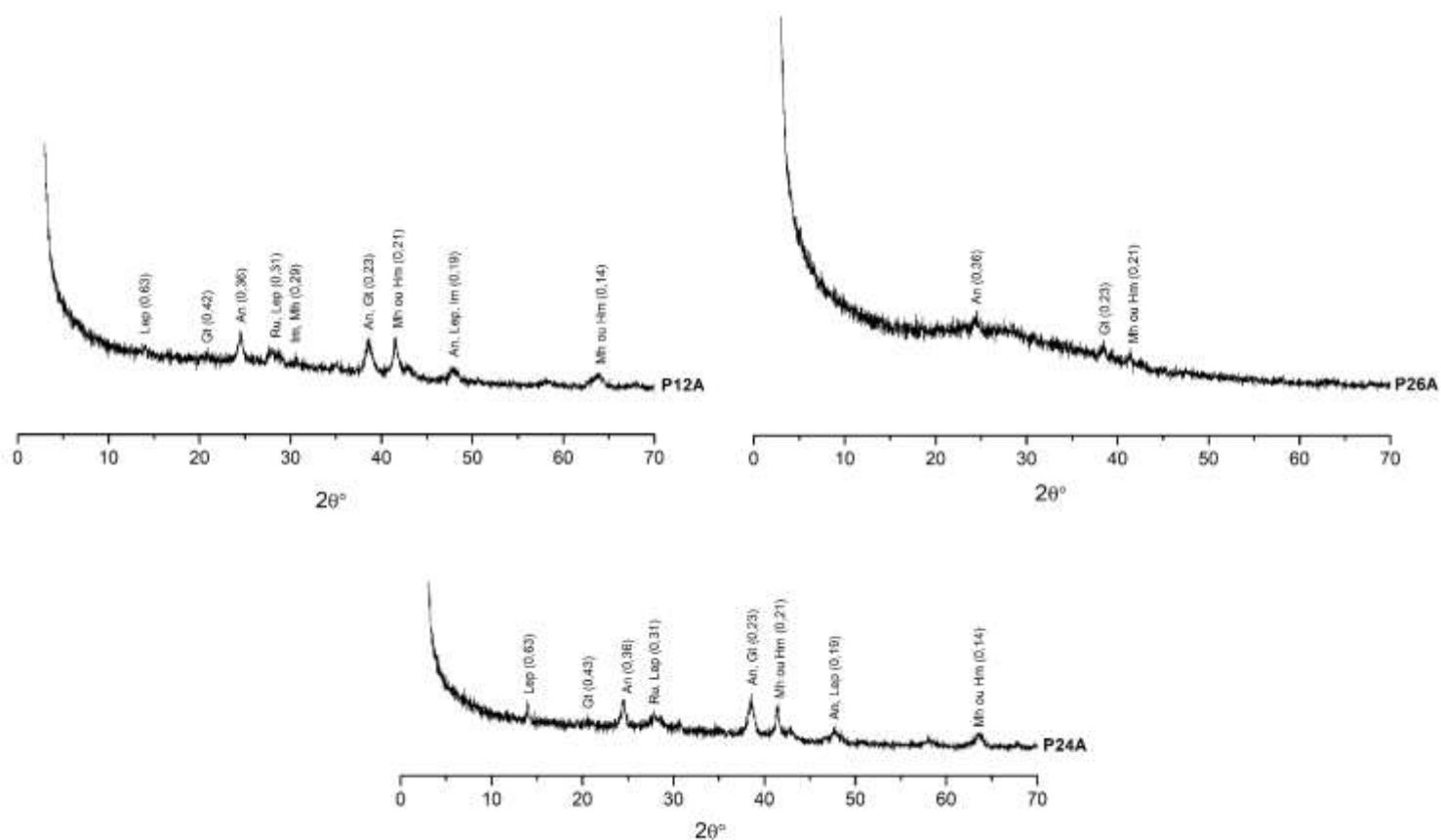


Figura 24. Mineralogia dos perfis de solo do geoambiente da Campo Rupestre Arbustivo (P12 e P26) e Campo Rupestre Aberto (P24), picos em nm.

Na Serra dos Carajás o estudo de minerais fosfáticos estava restrito até então ao estudo de rochas, incluindo depósitos químicos em cangas e jaspilitos. Foram observados quatro minerais fosfáticos nos solos de Carajás, a Leucofosfita e Esfeniscidita, que apresentam picos de reflexão muito próximos, 6,79 e 6,84 respectivamente, e a Strengita e Fosfosiderita que diferem apenas em seu sistema cristalino (isomorfos), sendo o sistema da Strengita monoclinico e da Fosfosiderita ortorrômbico (NRIAGU & MOORE, 1984; DICK & ZEISKE, 1997; FIGUEIRA *et al.* 2019). Esses minerais são observados em fases mais puras em campo pela coloração esbranquiçada, possivelmente devido à presença das hidroxilas, ligantes entre as estruturas primárias desses minerais, que conferem bandas de absorção baixas e coloração mais pálida (DICK & ZEISKE, 1977). A origem desses minerais é copogrênica, ou seja, são formados a partir de depósitos alogênicos de guano de quirópteros, seguido de sua decomposição, lixiviação e precipitação direta (HUTCHINSON, 1950; MAURITY

& KOUTCHOUBEY, 1995; ALBURQUERQUE *et al.* 2015; VIANA, 2016; ALBUQUERQUE *et al.* 2017; ALBURQUERQUE *et al.* 2018; FIGUEIRA *et al.* 2019). Minerais fosfáticos foram encontrados apenas no interior das cavidades em N1-0174 (P3) e N4WS-0067 (P18) associados a depósitos de guano, não sendo identificados nos demais geoambientes. Devido à essa associação com depósitos de guano, há um forte indicativo de que a proporção de morcegos na cavidade em S11D é menor. De acordo com AXELROD *et al.* (1952) a Fosfosiderita e a Strengita são os minerais de Fósforo mais comuns em áreas com influência de minério de ferro.

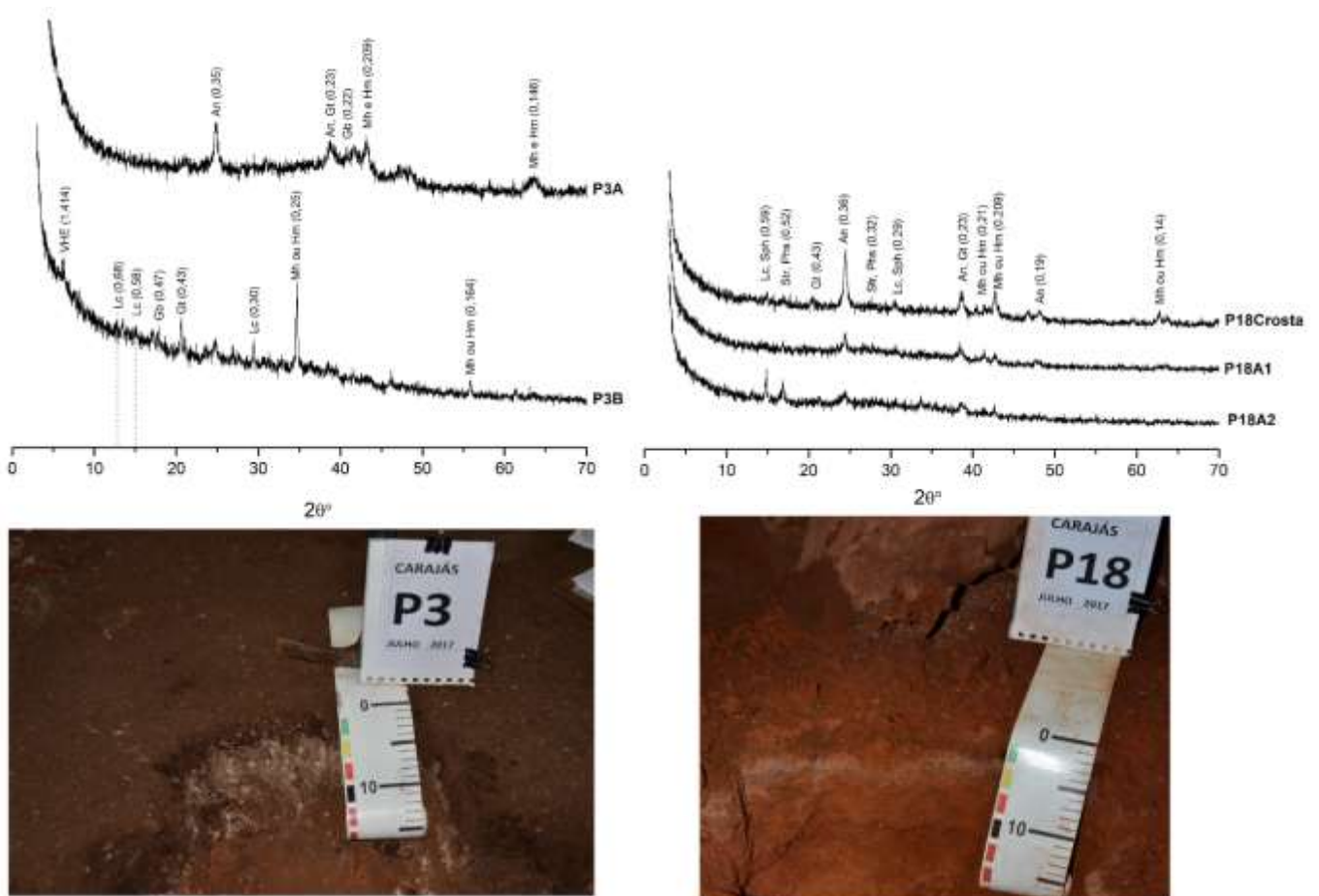


Figura 25. Mineralogia dos perfis de solo do geoambiente das Cavidades Naturais (P3 e P18), presença de minerais fosfáticos esbranquiçados, picos em nm.

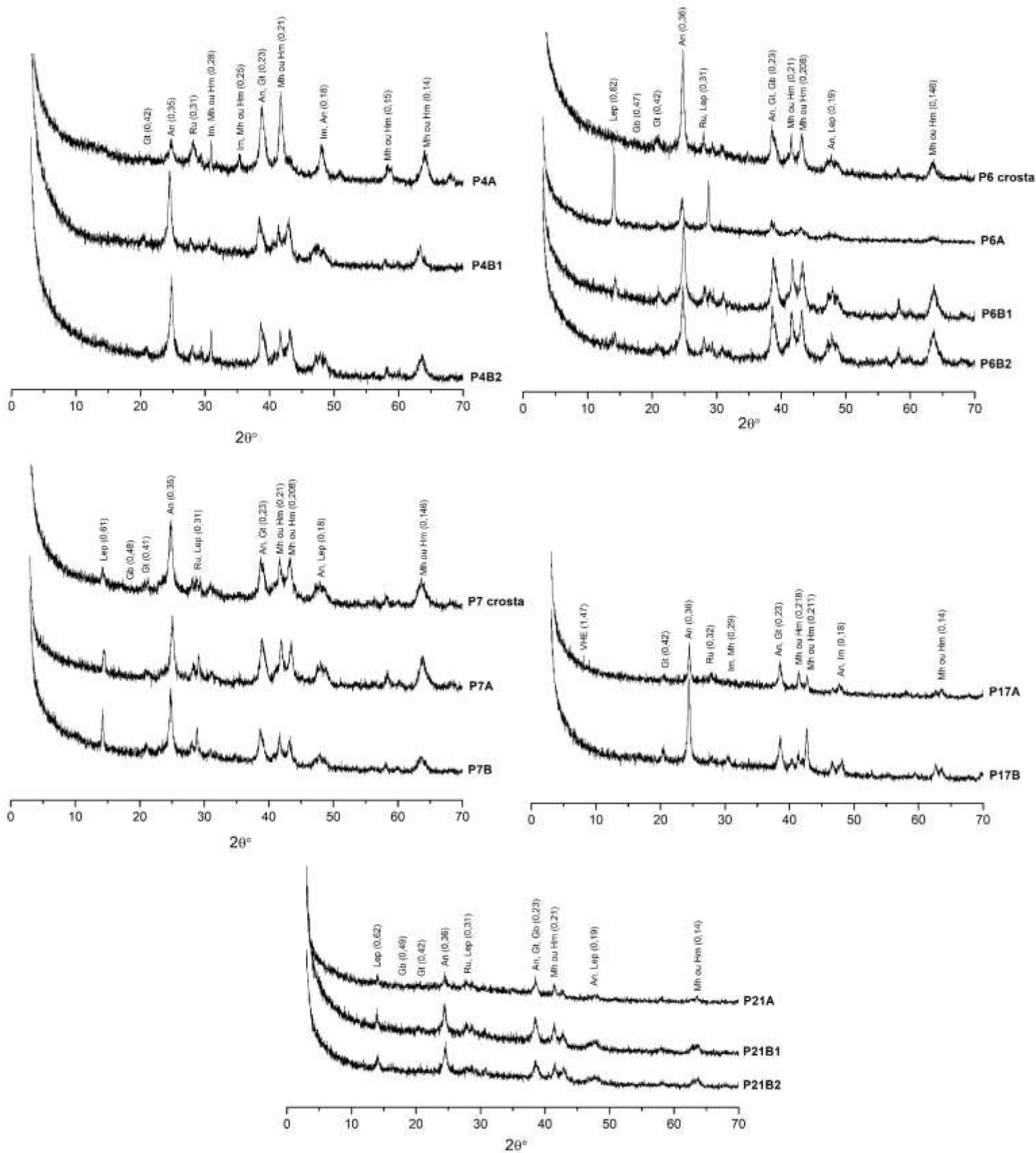


Figura 26. Mineralogia dos perfis de solo do geambiente das Cavidades Naturais (P4, P6, P7, P17, P21), picos em nm.

Uma das explicações para a ausência de minerais fosfáticos nos demais perfis de solo no interior das cavidades são as variações espaciais da deposição de guano e variações de oxi-redução, que pode desestabilizar fosfatos como a Esfeniscidita (DICK & ZEISKE, 1997). O pH para a formação da Leucofosfita varia entre 2,4 e 5,5, indicando que a acidez do solo pode ter um papel na desestabilização dos minerais, mas que não seria este o principal fator responsável pela ausência destes minerais em demais perfis de solos nas cavidades (AXELROD *et al.* 1952; NRIAGU & MOORE, 1984, DICK & ZEISKE, 1997). A presença da matéria orgânica pode também atuar como estabilizante desses minerais, já que foi observado nos perfis de solo que continham esses minerais teores elevados de matéria orgânica.

A presença de minerais 2:1 foram identificados apenas no P3 e P17. A condição de estabilidade das Vermiculitas está associada a grande atividade de silício e de bases trocáveis. Portanto a alta deposição de guano nas cavidades é responsável pela sua presença nesses perfis, uma vez que o guano apresenta teores elevados de bases trocáveis que são incorporados aos solos (RAI & KATTRIC, 1989). Possivelmente a formação de Vermiculitas com hidróxi entre camadas está associada à deposição de polímeros hidróxi nas entrecamadas originárias do recém intemperismo do guano (AZEVEDO & VIDAL-TORRADO, 2009). Apesar da identificação de Caulinita e Halosita em perfis de Carajás estudados por RIBEIRO (2009), CORRÊA, (2011) e SCHAEFER *et al.* (2016a), estes não foram identificados nos solos estudados, sendo necessário um tratamento de desferrificação das amostras para comprovação da ocorrência desses minerais. Apesar dos minerais sulfatados descritos nas rochas de cangas e jaspilitos e depósitos químicos nas cavidades naturais em Carajás como Alunita, Aluminita, Basaluminita e Jarosita e serem conferidas sua origem coprogênica, estes não foram identificados nos solos (FIGUEIRA *et al.* 2019).

Conclusões

I - Os solos estudados, apresentaram estrutura granular, pequena a muito pequena e forte com elevada porcentagem de concreções ferruginosas, teores elevados de argila e matéria orgânica, baixa CTC efetiva, V e SB, elevados teores de Al^{3+} no complexo de troca, teores relativamente baixos de metais pesados, valores elevados de ferro extraível e elevada acidez e distrofismo.

II - Os solos no interior das cavidades apresentaram teores de Fósforo (Mehlich 1) significativamente elevados em relação aos demais geoambientes. As Cavidades Naturais Subterrâneas representam *hotspots* de Fósforo em um Geossistema dominado pela pobreza química generalizada dos solos. A deposição de guano tem influência significativa no aumento de bases trocáveis (K, Na, Ca, Mg) além de Cu, Mn, e Zn nos solos.

III – A concentração de nutrientes no interior das cavernas, participa diretamente na manutenção da dinâmica ecossistêmica da Serra dos Carajás. Os elevados teores de Fósforo nos solos das cavernas indicaram que os quirópteros são agentes bioespeleogênicos destacados influenciando no processo de fosfatização e na gênese e evolução das cavidades.

IV – As análises de ACP e Similaridade separaram claramente os geoambientes estudados e as áreas de estudo. Solos das CNS, ME e CF tiveram uma correlação alta, com teores mais expressivos de silte e argila, saturação por alumínio e valor de ΔpH e pH (H₂O) superiores. Os solos com valores de P (Mehlich-1) e metais pesados relativamente mais elevados ocorreram nas CNS, principalmente em superfície, confirmando a influência da deposição de guano no aporte desses elementos na cavidade. Os perfis de solos de Campos Rupestres Ferruginosos foram separados claramente, são solos mais arenosos com teores relativos maiores de COT, Al^{3+} e T. Os solos dos Capões Florestais refletiram a transição clara entre os geoambientes.

V - Os principais minerais identificados em todos os solos foram a Hematita, Maghemita, Goethita, Anatásio, Rutilo e Lepidocrocita. Nas Cavidades Naturais, identificam-se ainda minerais fosfáticos como Leucofosfita,

Esfeniscidita, Strengita, Fosfositlerita, e Vermiculita, mineral 2:1. A Lepidocrocita e os minerais fosfáticos foram registrados pela primeira vez nos solos de Carajás.

REFERENCIAS

AB'SÁBER, A. N. 1956. Relevo, estrutura e rede hidrográfica do Brasil. **B. Geogr.**, 14:225-228.

ACEVEDO, A. C. & VIDAL-TORRADO, P. 2009. VI – Esmectita, Vermiculita, Minerais com Hidróxi entrecamadas e clorita. IN: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. **Química e Mineralogia do Solo, Parte I – Conceitos Básicos**, 695 p.

ALMEIDA, F. F. M., BRITO NEVES, B.B., CARNEIRO, C. D. R. 2000. *The Origin and Evolution of the South American Plataform*. **Earth Sci. Ver.**, 50:77-111.

ALBUQUERQUE, A. R. L., ANGÉLICA, R. S., GONÇALVES, D. F., PAZ, S. P. A. 2018. Phosphate speleothems in caves developed in iron ores and laterites of Carajás Mineral Province (Brasil) and a new occurrence of spheniscidite. **International Journal of Speleology**, 47(1), 53 – 67.

ALBUQUERQUE, A. R. L.; et al... Contribuição do guano de morcego na formação de espeleotemas fosfáticos em cavernas ferríferas de Carajás. In: RASTEIRO, M.A.; TEIXEIRA-SILVA, C.M.; LACERDA, S.G. (orgs.) **CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA**, 34, 2017. Ouro Preto. **Anais. Campinas: SBE**, 2017. p.301-311.

ALBUQUERQUE, A. R. L., GONÇALVES, D. F., SANTOS JÚNIOR, A. E. A. 2015. Petrografia e geoquímica de espeleotemas em cavidades naturais, N4E-08 e N4WS-72, em formação ferrífera da região de Carajás – Unidade Geomorfológica Serra Norte. **ANAIS do 33º Congresso Brasileiro de Espeleologia**, Sociedade Brasileira de Espeleologia.

ABREU, S. S., MACAMBIRA, J. B., CABRAL, E. S. 2016. Geologia e petrografia de formações ferríferas com ênfase na gênese de cavidades em Serra Norte, Carajás – PA. **Espeleo-Tema**, Sociedade Brasileira de Espeleologia, v. 27, n. 1.

AXELROD, J. M., CARRAN, M. K., MILTO, N. C., THAYER, T. P. 1952. Phosphate mineralization at Bomi Hills and Bambuta Liberia, West Africa. **American Mineralogist**, 37, 883-909.

CAMPOS, M. C. C, RIBEIRO, M. R., SOUZA, V. S. J., RIBEIRO FILHO, M. R., CONCEIÇÃO, R. V. C. S., ALMEIDA, M. C. 2011. Caracterização e classificação de terras pretas arqueológicas na Região do Médio Madeira. *Bragantia*, Campinas, v. 70, nº 3, p. 598-609.

CORRÊA, G. R., SCHAEFER, C. E. G. R., CORRÊA, G. F., GILKES, R. J., MEDONÇA, B. A. F., NUNES, J. A., PRAKONGKEP, N. 2016. Caracterização dos solos derivados de rochas máficas na Serra dos Carajás. **Bol. Mus. Para. Emilio Goeldi. Nat**, Belém, v. 11, n. 1, p. 33-47.

CORRÊA, G. R. 2011. **Pedogênese em Platôs de Canga Ferrífera e Basaltos na Serra dos Carajás -PA**. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.

COSTA, M. L. 1991. Aspectos Geológicos dos Lateritos da Amazônia. **Revista Brasileira de Geociências**. V. 21 (2): 146-160.

COSTA, A. C. S. & BIGHAM, J. M. 2009. VII – Óxidos de Ferro. IN: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. **Química e Mineralogia do Solo, Parte I – Conceitos Básicos**, 695 p.

COSTA, M. L. (1991). Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 21 (2), p. 146-160.

DICK, S. & ZEISKE, T. 1997. Leucophosphite $KFe_2(PO_4)_2(OH)(H_2O) \cdot H_2O$: Hydrogen Bonding and Structural Relationships. **Journal of Solid State Chemistry**, v. 133, 508 – 515.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA), 2013. **Sistema brasileiro de classificação de solos**: 1-380. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro.

EMBRAPA, 1997. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro,RJ). **Manual de métodos de análise de solo / Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. – 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro.

FEI, M. V. & LE ROUX, J. 1977. Properties and quantitative estimation of poorly cristaline components in sequioxidic soil clay. **Clays and Clay Minerals**, v. 25, p. 285-294.

FIGUEIRA, R. L., HORBE, A. M. C., ARAGÓN, F. F. H., GONÇALVES, D. F. 2019. Exotic sulphate and phosphate speleothems in caves from eastern Amazonia (Carajás, Brazil): Crystallographic and chemical insights. **Journal of South American Earth Sciences**, 90, 412 – 422.

HUANG, P. M. & VIOLANTE, A. 1986. Influence of organic acids on crystallization and surface properties of precipitation products of aluminum, IN: HUANG, P. M. & SCHNITZER, M., eds. 1986. **Interactions of sil minerals with natural organics and microbes**. Madison, Soil Science Society of America, p. 159-222.

HUTCHINSON, G. E. 1950. Survey of Contemporary Knowledge of Biogeochemistry: 3. **The Biogeochemistry of Vertebrate Excretion**. **Bulletin of the American Museum of Natural History**, v. 96, 596 p.

HSU, P. H. 1989. Aluminum hydroxides and oxyhydroxides. IN: DIXONS, J. B. & WEED, S. B., eds. 1989. **Minerals in soil environments**. Madison, Soil Science Society of America, p. 331-378.

KODAMA, H. & SCHNITZER, M. 1980. Effect of fullvic acid on the crystallization of alminum hydroxide. **Geoderma**, , v. 24, p. 195-205.

LINDENMAYER, Z. G., LAUX, J. H., TEIXEIRA, J. B. G. 2001. Considerações sobre a origem das formações ferríferas da Formação Carajás, serra dos Carajás. **Revista Brasileira de Geociências**, 31(1):21-28.

MACAMBIRA J.B. 2003. **O ambiente deposicional do Grupo Grão Pará-Carajás**. Tese apresentada à Universidade de Campinas, Instituto de Geociências, 212 p.

MAURITY, C. W. & KOTSCHOUBEY, B. 1992. Efeitos da ação intempérica e feições pseudocársticas na cobertura laterítica da aba Norte da Serra dos Carajás – PA. **37º Congresso Brasileiro de Geologia – SBG/SP.**

MAURITY, C.W.; KOTSCHOUBEY, B. Evolução da cobertura de alteração no Platô N1 - Serra dos Carajás-PA. Degradação, pseudocarstificação, espeleotemas. **Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi.** Série Ciências da Terra, n 7, p. 331-362, 1995.

NUNES, J. A; SCHAEFER, C. E. G. R; FERREIRA-JÚNIOR, W. G. NERI, A. V; CORREA, G. R; ENRIGHT, N. J. Soil-vegetation relationships on a banded ironstone 'island', Carajás Plateau, Brazilian Eastern Amazonia. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 14 p. 2015.

NRIAGU, J. O & MOORE, P. B. 1984. **Phosphate minerals.** Springer-Verlag, Berlin, 442 p.

PARKER, C. W., AULER, A. S., SENKO, J., SASOWSKY, I. D., PILÓ, L. B., SMITH, M., JOHNSTON, M., BARTON, H. 2013. Microbial iron cycling and Bioespeleogenesis: Cave development in Carajás Formation, Brazil. **Bioespeleology, Geomicrobiology and Ecology**, pôster.

SCHAEFER, C. E. G. R., RIBEIRO, A. S. S., CORRÊA, G. R., NETO, E. L., SIMAS, F. N. B., KER, J. C. 2016a. Características químicas e mineralogia de solos perférricos da Serra Sul de Carajás. **Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi. Nat**, Belém, v. 11, n. 1, p. 57-69.

SCHAEFER, C. E. G. R; CORRÊA, G. R; CÂNDIDO, H. G; ARRUDA, D. M.; NUNES, J. A; ARAÚJO, R. W; RODRIGUES, P. M. S; FILHO, E. I. F; PEREIRA, A. F. S; BRANDÃO, P. C; NERI, A. V. 2016b. The physical Environment of Rupestrian Grassland (Campos Rupestres Ferruginosos) in Brazil: Geological, Geomorphological and Pedological Characteristics, and interplays. In: FERNANDES, G. W. **Ecology and Conservation of Mountaintop Grasslands in Brazil.** Springer.

SCHAEFER, C. E. G. R., CÂNDIDO, H. G., CORRÊA, G. R., PEREIRA, A., NUNES, J. A., SOUSA, O. F., MARINS, A., FERNANDES FILHO, E. & KER, J. C. 2015. Solos desenvolvidos sobre canga ferruginosa no Brasil: uma revisão crítica e papel ecológico de termiteiros. **Geossistemas Ferruginosos do Brasil**. 3i editora.

RAI, D. & KITTRICK, J. A. 1989. Mineral equilibria in soil systems. In: DIXON, J. B. & WEED, S. B. **Mineral in Soil Environments**. 2. Ed. Madison, Soil Science Society of America. P. 161-198.

SCHAEFER, C. E. G. R. 2013. Bases físicas da paisagem brasileira: estrutura geológica, relevo e solos. In: ARAÚJO, A. P. & ALVES, B. J. R. A. 2013. **Tópicos em Ciência do Solo. Vol. VIII**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

SCHAEFER, C.E.R.G.; MEDONÇA, B.A.F.; FERREIRA JÚNIOR, VALENTE, E.L. & CORRÊA, G.R. 2012. Relações Solo-Vegetação em alguns ambientes brasileiros: Fatores Edáficos e Florística. **Ecologia de florestas tropicais do Brasil**. Viçosa: Editora UFV. 2a edição.

SINGER, A. & HUANG, P.M. 1990. Effects of humic acids on the crystallization of aluminum hydroxides. **Clays and Clay miner.**, v. 38, p. 47-57.

VIANA, A. M. G. 2016. **Aspectos mineralógicos e geoquímicos do tipo crosta em cavernas ferríferas/lateríticas da Serra Norte, Carajás, Pará**. Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Geologia Exploratória, Universidade Federal do Paraná.

VIOLANTE, A. & VIOLANTE, P. 1980. Influence of pH, concentration of chelating power of organic anions on the synthesis of aluminium hydroxides and oxyhydroxides. *Clay and Clay Miner.*, 28, 425-434.

KER, J. C. (1995). **Mineralogia, sorção e dessorção de fosfato, magnetização e elementos traços de latossolos do Brasil**. Tese apresentada ao programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Viçosa – MG.

ANEXOS

Anexo I. Perfis de solos coletados e valores para o cálculo da porcentagem de concreções.

Perfil	Horiz	Prof.	TFSA (g)	Cascalho (g)	Peso total	% cascalho	Observação
P1	A	0 - 14	328,69	193,61	522,3	37,068734	Material Orgânico
P2	Ac	0 - 21	199,36	79,61	278,97	28,537119	Material Orgânico
P2	BAc	21 - 27	339,99	623,65	963,64	64,718152	Petroplintita
P2	B	27 - 45	436,55	1176,24	1612,79	72,932	Petroplintita
P3	A	2 - 0	365,74	50,84	416,58	12,204138	Petroplintita
P3	Bc	0 -13	359,19	221,01	580,2	38,092037	Petroplintita
P4	Ac (crosta)	0 - 3	416,83	48,75	465,58	10,470811	Petroplintita
P4	Bc1	3 - 25	263,11	101,13	364,24	27,764661	Petroplintita
P4	Bc2	25 - 40	351,21	467,94	819,15	57,125069	Petroplintita
P5	Ac (crosta)	0 - 3	431,83	105,79	537,62	19,677467	Petroplintita
P5	Bc	3 - 30	474,53	455,26	929,79	48,963745	Petroplintita
P6	Ac1 (crosta)	0 - 2	389,73	99,03	488,76	20,261478	Petroplintita
P6	A	2 - 21	-	-	-	30	Obtido visualmente
P6	Bc1	21 - 46	675,49	109,16	784,65	13,911935	Petroplintita
P6	Bc2	46 - 104	792,96	899,73	1692,69	53,153856	Petroplintita
P6	Bc	104 - 120+	-	-	-	-	Litoplíntico
P7	Ac1 (crosta)	0 - 2	255,33	292,16	547,49	53,363532	Petroplintita
P7	Ac2	2 - 18	777,34	394,33	1171,67	33,655381	Petroplintita
P7	Bc1	18 - 42	780,55	245,81	1026,36	23,949686	Petroplintita
P7	Bc2	42 - 80+	882,66	199,22	1081,88	18,414242	Petroplintita
P8	Bc1	0 - 42	856,43				
P8	2A	42 - 65	574,31	162,42	736,73	22,046068	Petroplintita

P8	Bc2	65 - 80+	511,33	450,39	961,72	46,831718	Petroplintita
P9	Ac	0 -15	545,51	270,65	816,16	33,16139	Petroplintita
P9	BF	15 - 28	461,61	296,97	758,58	39,148145	Petroplintita
P10	Ac	0 - 26	568,08	734,31	1302,39	56,381729	Petroplintita
P10	Bc1	26 - 36	338,47	779,15	1117,62	69,715109	Petroplintita
P10	Bc2	36 - 50+	402,93	932,98	1335,91	69,838537	Petroplintita
P11	Ac	0 - 23	686,47	300,52	986,99	30,44813	Petroplintita
P11	BAC	23 - 37	610,56	340,99	951,55	35,835216	Petroplintita
P11	Bc	37 - 60+	595,15	1097,22	1692,37	64,83334	Petroplintita
P12	Ac	0 - 18	640,9	1372,34	2013,24	68,165743	Petroplintita
P13	Ac	0 - 21	713,9	411,41	1125,31	36,559704	Petroplintita
P13	BAC	21 - 42	412,38	925,87	1338,25	69,18513	Petroplintita
P13	Bc	42 - 80+	470,61	806,98	1277,59	63,164239	Petroplintita
P14	Ac	0 - 17	603,37	100,37	703,74	14,26237	Petroplintita
P14	BAC	17 - 32	517,67	296,17	813,84	36,391674	Petroplintita
P14	Bc1	32 - 57	590,85	233,86	824,71	28,356634	Petroplintita
P14	Bc2	57 - 90+	407,81	574,61	982,42	58,489241	Petroplintita
							Crosta fosfática com nódulos de óxidos de ferro
P15	Ack	0 - 4	622,85	165,84	788,69	21,027273	
P15	Bc1	4 -22	362,99	172,99	535,98	32,275458	Petroplintita
P15	Bc2	22 -28	339,04	172,04	511,08	33,662049	Petroplintita
							Crosta fosfática com nódulos de óxidos de ferro
P16	Ak (crosta)	0 - 2	331,08	24,76	355,84	6,9581835	
P16	A	2 - 15	947,98	39,66	987,64	4,0156332	Petroplintita
P17	Ac	0 - 12	498,72	335,08	833,8	40,187095	Petroplintita
P17	F	12 - 30+	332,8	525,48	858,28	61,224775	Petroplintita

P18	Ac	0 - 3	500,72	161,56	662,28	24,394516	Petroplintita
							Crosta fosfática com nódulos de óxidos de ferro
P18	Ak (crosta)	3 - 6	396,9	135,26	532,16	25,417168	
P18	FC	6 - 20	1090,03	213,29	1303,32	16,365129	Petroplintita
P19	Ac	0 - 12	696,77	85,83	782,6	10,967289	Petroplintita
P20	Ac	0 - 4	573,23	211,46	784,69	26,948222	Petroplintita
							Crosta fosfática com nódulos de óxidos de ferro
P21	Ac (crosta)	0 - 2	562,25	770,61	1332,86	57,816275	
P21	Bc1	2 - 32	834,03	249,89	1083,92	23,054284	Petroplintita
P21	Bc2	32 - 56	808,65	840,62	1649,27	50,969217	Petroplintita
P22	Ac	0 - 19	1044,76	113,94	1158,7	9,833434	Petroplintita
P22	BAc	19 - 33	779,71	146,49	926,2	15,816238	Petroplintita
P22	Bc	33 - 60+	1094,09	227,91	1322	17,239788	Petroplintita
P23	Ac	0 - 11	703,44	162,43	865,87	18,759167	Petroplintita
P23	BAc	11 - 22	697,62	329,84	1027,46	32,102466	Petroplintita
P23	Bc	22 - 50	969,13	949,82	1918,95	49,49686	Petroplintita
P24	Ac	0 - 20	130,36	343,15	473,51	72,46943	Petroplintita
P25	Ac	0 - 7	231,17	1459,4	1690,57	86,325914	Petroplintita
P26	AF	0 - 28	767,79	187,04	954,83	19,588827	Petroplintita

Perfis Aberto e Descritos

A seguir a descrição de cada perfil de solo aberto e descrito assim como fitofisionomia associada, litologia, formação geológica, relevo e condições de drenagem.

PERFIL – P1

DESCRIÇÃO GERAL

DATA – 07/07/2017

LOCALIZAÇÃO – 50°17'55''W 6°01'27''S Platô N1, Caverna N1-0174, Serra dos Carajás – PA.

CLASSIFICAÇÃO - NEOSSOLO LITÓLICO Hístico típico.

ALTITUDE – 656.97 m.

LITOLOGIA – Conglomerado laterítico.

GEOLOGIA - Arqueano, Supergrupo Itacaiúnas, Grupo Grão-Pará, Contato entre Formação Parauapebas e Formação Carajás (Borda do Platô).

MATERIAL ORIGINÁRIO – BIF com Soleiras Máficas (Macambira, 2003).

PEDREGOSIDADE – Muito pedregosa.

ROCHOSIDADE – Muito Rochosa.

RELEVO REGIONAL – Plano e suave ondulado.

RELEVO LOCAL – Plano.

EROSÃO, CLASSE DE EROSÃO – Erosão hídrica, não aparente.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Capão Florestal.

USO ATUAL – Área de Conservação Ambiental Federal (FLONA Carajás).

OBSERVAÇÃO – O perfil foi coletado acima do lajedo que compõe a entrada da caverna, existem muitas raízes penetrando ao longo de todo o perfil e o solo apresentou forte atração magnética.

Transição entre horizontes

COLETADO POR – Patanjaly Barbosa de Andrade, Carlos Ernesto Schaefer, Guilherme Resende Corrêa, Hugo Galvão Cândido e Wendelo Costa.



Figura 27. Do lado esquerdo perfil de NEOSSOLO LITÓLICO Hístico típico aberto em Capão Florestal acima da entrada da cavidade. Ao lado direito, visão da cobertura vegetal sobre o perfil.

PERFIL – P2

DESCRIÇÃO GERAL

DATA – 07/07/2017

LOCALIZAÇÃO – 50°17'55''W 6°01'26''S, Platô N1, Cavidade N1-0174, Serra dos Carajás – PA.

CLASSIFICAÇÃO - PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário cambissólico

ALTITUDE – 655 m.

LITOLOGIA – Conglomerado laterítico.

GEOLOGIA - Arqueano, Supergrupo Itacaiúnas, Grupo Grão-Pará, Contato entre Formação Parauapebas e Formação Carajás (Borda do Platô).

MATERIAL ORIGINÁRIO – BIF com Soleiras Máficas (Macambira, 2003).

PEDREGOSIDADE – Muito pedregosa.

ROCHOSIDADE – Muito Rochosa.

RELEVO REGIONAL – Plano e suave ondulado.

RELEVO LOCAL – Plano.

EROSÃO, CLASSE DE EROSÃO – Erosão hídrica, não aparente.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Capão Florestal.

USO ATUAL – Área de Conservação Ambiental Federal (FLONA Carajás).

OBSERVAÇÃO – O perfil foi coletado próximo à entrada da cavidade no interior do Capão Florestal, nota-se abundantes raízes ao longo de todo o perfil blocos de cange, os horizontes apresentaram forte atração magnética.

COLETADO POR – Patanjaly Barbosa de Andrade, Carlos Ernesto Schaefer, Guilherme Resende Corrêa, Hugo Galvão Cândido e Wendelo Costa.



Figura 28. Do lado esquerdo perfil de PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário cambissólico aberto no Capão Florestal em frente a entrada da cavidade. Ao lado direito, visão do Capão Florestal sobre o perfil. Nota-se raízes abundantes e de diâmetro muito finas a grossas.

PERFIL – P3

DESCRIÇÃO GERAL

DATA – 07/07/2017

LOCALIZAÇÃO – 50°17'55''W 6°01'29''S, Platô N1, Caverna N1-0174, Serra dos Carajás – PA.

CLASSIFICAÇÃO - PLINTOSSOLO PÉTRICO Litoplúntico típico

ALTITUDE – 655 m.

LITOLOGIA – Conglomerado laterítico.

GEOLOGIA - Arqueano, Supergrupo Itacaiúnas, Grupo Grão-Pará, Contato entre Formação Parauapebas e Formação Carajás (Borda do Platô).

MATERIAL ORIGINÁRIO – Guano fresco de quirópteros e BIF com Soleiras Máficas (Macambira, 2003).

PEDREGOSIDADE – Muito pedregosa.

ROCHOSIDADE – Muito Rochosa.

RELEVO REGIONAL – Plano e suave ondulado.

RELEVO LOCAL – Plano.

EROSÃO, CLASSE DE EROSÃO – Erosão hídrica, não aparente.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Sem vegetação.

USO ATUAL – Área de Conservação Ambiental Federal (FLONA Carajás).

OBSERVAÇÃO – O perfil foi coletado no interior da caverna. Apresenta superficialmente grande deposição de guano fresco proveniente das excreções de quirópteros.

COLETADO POR – Patanjaly Barbosa de Andrade, Carlos Ernesto Schaefer, Guilherme Resende Corrêa, Hugo Galvão Cândido e Wendelo Costa.



Figura 29. Acima perfil de PLINTOSSOLO PÉTRICO Litoplíntico típico, com alta deposição de guano fresco superficialmente, nota-se mosqueados intensos de coloração branca indicando mobilização e precipitação de fosfatos. Abaixo, visão geral do lajedo onde o perfil foi coletado, o relevo plano localizado possibilitou a estabilização do guano e intemperização do lajedo de canga em profundidade.

PERFIL – P4

DESCRIÇÃO GERAL

DATA – 07/07/2017

LOCALIZAÇÃO – 50°17'55''W 6°01'29''S, Platô N1, Caverna N1-0174, Serra dos Carajás – PA.

CLASSIFICAÇÃO - PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário cambissólico

ALTITUDE – 654 m.

LITOLOGIA – Conglomerado laterítico.

GEOLOGIA - Arqueano, Supergrupo Itacaiúnas, Grupo Grão-Pará, Contato entre Formação Parauapebas e Formação Carajás (Borda do Platô).

MATERIAL ORIGINÁRIO – BIF com Soleiras Máficas (Macambira, 2003).

PEDREGOSIDADE – Muito pedregosa.

ROCHOSIDADE – Muito Rochosa.

RELEVO REGIONAL – Plano e suave ondulado.

RELEVO LOCAL – Plano.

EROSÃO, CLASSE DE EROSÃO – Erosão hídrica, não aparente.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Sem vegetação.

USO ATUAL – Área de Conservação Ambiental Federal (FLONA Carajás).

OBSERVAÇÃO – O perfil foi coletado no interior da caverna na extremidade esquerda próximo à entrada. Presença de poucas raízes e muito finas

COLETADO POR – Patanjaly Barbosa de Andrade, Carlos Ernesto Schaefer, Guilherme Resende Corrêa, Hugo Galvão Cândido e Wendelo Costa.



Figura 30. Perfil de PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário cambissólico à esquerda, homogeinização da coloração ao longo do perfil. A direita, local de coleta do P4, à esquerda da cavidade logo atrás do lajedo onde o P3 foi coletado.

PERFIL – P5

DESCRIÇÃO GERAL

DATA – 07/07/2017

LOCALIZAÇÃO – 50°17'55''W 6°01'29''S, Platô N1, Caverna N1-0174, Serra dos Carajás – PA.

CLASSIFICAÇÃO - NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico fragmentário

ALTITUDE – 653 m.

LITOLOGIA – Conglomerado laterítico.

GEOLOGIA - Arqueano, Supergrupo Itacaiúnas, Grupo Grão-Pará, Contato entre Formação Parauapebas e Formação Carajás (Borda do Platô).

MATERIAL ORIGINÁRIO – BIF com Soleiras Máficas (Macambira, 2003).

PEDREGOSIDADE – Muito pedregosa.

ROCHOSIDADE – Muito Rochosa.

RELEVO REGIONAL – Plano e suave ondulado.

RELEVO LOCAL – Plano.

EROSÃO, CLASSE DE EROSÃO – Erosão hídrica, não aparente.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Sem vegetação.

USO ATUAL – Área de Conservação Ambiental Federal (FLONA Carajás).

OBSERVAÇÃO – O perfil foi coletado no centro da caverna, apresentou forte atração magnética. Carvão ao longo de todo o perfil.

COLETADO POR – Patanjaly Barbosa de Andrade, Carlos Ernesto Schaefer, Guilherme Resende Corrêa, Hugo Galvão Cândido e Wendelo Costa.



Figura 31. Perfil de NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico fragmentário canto superior esquerdo, nota para fragmentos de carvão ao longo de todo o perfil. No canto superior direito, visão geral do local de coleta do perfil, próximo à parede de concreções lateríticas, e abaixo visão superficial antes da coleta.

PERFIL – P6

DESCRIÇÃO GERAL

DATA – 07/07/2017

LOCALIZAÇÃO – 50°17'55''W 6°01'29''S, Platô N1, Caverna N1-0174, Serra dos Carajás – PA.

CLASSIFICAÇÃO - PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário latossólico, Antrópico.

ALTITUDE – 652 m.

LITOLOGIA – Conglomerado laterítico.

GEOLOGIA - Arqueano, Supergrupo Itacaiúnas, Grupo Grão-Pará, Contato entre Formação Parauapebas e Formação Carajás (Borda do Platô).

MATERIAL ORIGINÁRIO – Ossos humanos, carvão pirogênico, BIF com Soleiras Máficas (Macambira, 2003).

PEDREGOSIDADE – Muito pedregosa.

ROCHOSIDADE – Muito Rochosa.

RELEVO REGIONAL – Plano e suave ondulado.

RELEVO LOCAL – Plano.

EROSÃO, CLASSE DE EROSÃO – Erosão hídrica, não aparente.

DRENAGEM – Moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Sem vegetação.

USO ATUAL – Área de Conservação Ambiental Federal (FLONA Carajás).

OBSERVAÇÃO – O perfil foi coletado em sítio arqueológico no final da caverna, em sua entrada secundária, foi observado muitas raízes, de diâmetro fina a grossas. Ao longo do perfil ocorre a presença de carvão pirogênico proveniente da atividade antrópica, além de ossos. Na base do perfil ocorre canga degradada capeada por concreções fosfáticas. Apresentou atração magnética moderada.

COLETADO POR – Patanjaly Barbosa de Andrade, Carlos Ernesto Schaefer, Guilherme Resende Corrêa, Hugo Galvão Cândido e Wendelo Costa.



Figura 32. No canto superior esquerdo, perfil de PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário latossólico, Antrópico, a partir da imagem do canto superior direito é possível observar o forrageamento ativo de raízes grossas para o interior da cavidade. A terceira figura indica o local de coleta, sítio arqueológico.

PERFIL – P7

DESCRIÇÃO GERAL

DATA – 07/07/2017

LOCALIZAÇÃO – 50°17'55''W 6°01'29''S, Platô N1, Cavidade N1-0174, Serra dos Carajás – PA.

CLASSIFICAÇÃO - PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário latossólico, Antrópico

ALTITUDE – 652 m.

LITOLOGIA – Conglomerado laterítico.

GEOLOGIA - Arqueano, Supergrupo Itacaiúnas, Grupo Grão-Pará, Contato entre Formação Parauapebas e Formação Carajás (Borda do Platô).

MATERIAL ORIGINÁRIO – Carvão pirogênico, BIF com Soleiras Máficas (Macambira, 2003).

PEDREGOSIDADE – Muito pedregosa.

ROCHOSIDADE – Muito Rochosa.

RELEVO REGIONAL – Plano e suave ondulado.

RELEVO LOCAL – Plano.

EROSÃO, CLASSE DE EROSÃO – Erosão hídrica, não aparente.

DRENAGEM – Moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Sem vegetação.

USO ATUAL – Área de Conservação Ambiental Federal (FLONA Carajás).

OBSERVAÇÃO – O perfil foi coletado ao lado do P6, não contém fragmentos de ossos visíveis, sua atração magnética foi moderada, foi possível observar a presença de carvão pirogênico até aproximadamente 42 cm.

COLETADO POR – Patanjaly Barbosa de Andrade, Carlos Ernesto Schaefer, Guilherme Resende Corrêa, Hugo Galvão Cândido e Wendelo Costa.



Figura 33. No canto superior esquerdo, perfil de PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário latossólico, Antrópico. No canto superior direito, ampliação com foco na morfologia do perfil com alto grau de desenvolvimento das unidades estruturais, abaixo fragmento de carvão observado a mais de 42 cm de profundidade. Na seção inferior visão geral do sítio arqueológico, o perfil foi coletado próximo à parede de concreção laterítica.

PERFIL – P8

DESCRIÇÃO GERAL

DATA – 07/07/2017

LOCALIZAÇÃO – 50°17'55''W 6°01'29''S, Platô N1, Cavidade N1-0174, Serra dos Carajás – PA.

CLASSIFICAÇÃO - PLINTOSSOLO PÉTRICO Litoplíntico típico, A enterrado.

ALTITUDE – 600 m.

LITOLOGIA – Conglomerado laterítico.

GEOLOGIA - Arqueano, Supergrupo Itacaiúnas, Grupo Grão-Pará, Contato entre Formação Parauapebas e Formação Carajás (Borda do Platô).

MATERIAL ORIGINÁRIO – BIF com Soleiras Máficas (Macambira, 2003).

PEDREGOSIDADE – Muito pedregosa.

ROCHOSIDADE – Muito Rochosa.

RELEVO REGIONAL – Plano e suave ondulado.

RELEVO LOCAL – Suave Ondulado.

EROSÃO, CLASSE DE EROSÃO – Erosão hídrica, ligeira.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Ombrófila Aberta ou Mata de Encosta.

USO ATUAL – Área de Conservação Ambiental Federal (FLONA Carajás).

OBSERVAÇÃO – O perfil está em uma seção de encosta da vertente, ocorrem muitos blocos coluviais maiores que 20 cm de diâmetro, inclusive dentro da seção controle do perfil. O perfil apresenta raízes abundantes de diâmetro muito finas a muito grossas. Localiza-se fora da cavidade, apresentou moderada atração magnética com fragmentos de carvão do horizonte A à F.

COLETADO POR – Patanjaly Barbosa de Andrade, Carlos Ernesto Schaefer, Guilherme Resende Corrêa, Hugo Galvão Cândido e Wendelo Costa.



Figura 34. No canto superior esquerdo, perfil de PLINTOSSOLO PÉTRICO Litoplíntico típico, A enterrado. No canto superior direito visão geral do local de coleta evidenciando o ambiente coluvial. Na seção inferior visão geral da vegetação de Floresta Ombrófila Aberta ou Mata de Encosta a partir do perfil.

PERFIL – P9

DESCRIÇÃO GERAL

DATA – 07/07/2017

LOCALIZAÇÃO – 50°17'55''W 6°01'29''S, Platô N1, Caverna N1-0174, Serra dos Carajás – PA.

CLASSIFICAÇÃO - NEOSSOLO LITÓLICO Hístico típico.

ALTITUDE – 655 m.

LITOLOGIA – Conglomerado laterítico.

GEOLOGIA - Arqueano, Supergrupo Itacaiúnas, Grupo Grão-Pará, Contato entre Formação Parauapebas e Formação Carajás (Borda do Platô).

MATERIAL ORIGINÁRIO – Guano fresco de quirópteros e BIF com Soleiras Máficas (Macambira, 2003).

PEDREGOSIDADE – Muito pedregosa.

ROCHOSIDADE – Muito Rochosa.

RELEVO REGIONAL – Plano e suave ondulado.

RELEVO LOCAL – Plano.

EROSÃO, CLASSE DE EROSÃO – Erosão hídrica, não aparente.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Sem vegetação.

USO ATUAL – Área de Conservação Ambiental Federal (FLONA Carajás).

OBSERVAÇÃO – O perfil está localizado no mesmo lajedo do P3, apresenta alta deposição recente de guano superficialmente.

COLETADO POR – Patanjaly Barbosa de Andrade, Carlos Ernesto Schaefer, Guilherme Resende Corrêa, Hugo Galvão Cândido e Wendelo Costa.



Figura 35. Acima perfil de NEOSSOLO LITÓLICO Hístico típico, com alta deposição de guano fresco superficialmente com densidade alta de raízes. A direita, visão geral do lajedo onde o perfil foi coletado, o relevo plano localizado possibilitou a estabilização do guano e intemperização do lajedo de canga em profundidade assim como no P3.

PERFIL – P10

DESCRIÇÃO GERAL

DATA – 07/07/2017

LOCALIZAÇÃO – 50°17'55''W 6°01'26''S, Platô N1, Caverna N1-0174, Serra dos Carajás – PA.

CLASSIFICAÇÃO - PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário cambissólico.

ALTITUDE – 658 m.

LITOLOGIA – Conglomerado laterítico.

GEOLOGIA - Arqueano, Supergrupo Itacaiúnas, Grupo Grão-Pará, Contato entre Formação Parauapebas e Formação Carajás (Borda do Platô).

MATERIAL ORIGINÁRIO –BIF com Soleiras Máficas (Macambira, 2003).

PEDREGOSIDADE – Muito pedregosa.

ROCHOSIDADE – Muito Rochosa.

RELEVO REGIONAL – Plano e suave ondulado.

RELEVO LOCAL– Plano.

EROSÃO, CLASSE DE EROSÃO – Erosão hídrica, não aparente.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Capão Florestal.

USO ATUAL – Área de Conservação Ambiental Federal (FLONA Carajás).

OBSERVAÇÃO – O perfil está localizado no centro do capão florestal a 40 m da entrada da caverna, apresenta raízes abundantes e forte atração magnética.

COLETADO POR – Patanjaly Barbosa de Andrade, Carlos Ernesto Schaefer, Guilherme Resende Corrêa, Hugo Galvão Cândido e Wendelo Costa.



Figura 36. No canto esquerdo, perfil de PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário cambissólico. Ao longo de todo o perfil ocorre raízes abundantes de diâmetro fino a médio. Na direita, visão geral do Capão Florestal no centro.

PERFIL – P11

DESCRIÇÃO GERAL

DATA – 08/07/2017

LOCALIZAÇÃO – 50°17'55''W 6°01'26''S, Platô N1, Cavidade N1-0174, Serra dos Carajás – PA.

CLASSIFICAÇÃO - PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário cambissólico.

ALTITUDE – 658 m.

LITOLOGIA – Conglomerado laterítico.

GEOLOGIA - Arqueano, Supergrupo Itacaiúnas, Grupo Grão-Pará, Contato entre Formação Parauapebas e Formação Carajás (Borda do Platô).

MATERIAL ORIGINÁRIO –BIF com Soleiras Máficas (Macambira, 2003).

PEDREGOSIDADE – Muito pedregosa.

ROCHOSIDADE – Muito Rochosa.

RELEVO REGIONAL – Plano e suave ondulado.

RELEVO LOCAL– Plano.

EROSÃO, CLASSE DE EROSÃO – Erosão hídrica, não aparente.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Capão Florestal.

USO ATUAL – Área de Conservação Ambiental Federal (FLONA Carajás).

OBSERVAÇÃO – O perfil está localizado no final do capão florestal a 60 m da entrada da cavidade, apresenta raízes abundantes e forte atração magnética.

COLETADO POR – Patanjaly Barbosa de Andrade, Carlos Ernesto Schaefer, Guilherme Resende Corrêa, Hugo Galvão Cândido e Wendelo Costa.



Figura 37. No canto esquerdo, perfil de PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário cambissólico. Ao longo de todo o perfil ocorre raízes abundantes de diâmetro fino a médio. Na direita, visão geral do Capão Florestal no centro, local próximo aonde o perfil foi coletado.

PERFIL – P12

DESCRIÇÃO GERAL

DATA – 08/07/2017

LOCALIZAÇÃO – 50°17'55''W 6°01'24''S, Platô N1, Cavidade N1-0174, Serra dos Carajás – PA.

CLASSIFICAÇÃO - NEOSSOLO LITÓLICO Hístico típico.

ALTITUDE – 658 m.

LITOLOGIA – Conglomerado laterítico.

GEOLOGIA - Arqueano, Supergrupo Itacaiúnas, Grupo Grão-Pará, Contato entre Formação Parauapebas e Formação Carajás (Borda do Platô).

MATERIAL ORIGINÁRIO –BIF com Soleiras Máficas (Macambira, 2003).

PEDREGOSIDADE – Muito pedregosa.

ROCHOSIDADE – Muito Rochosa.

RELEVO REGIONAL – Plano e suave ondulado.

RELEVO LOCAL– Plano.

EROSÃO, CLASSE DE EROSÃO – Erosão hídrica, não aparente.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Campo Rupestre Arbustivo.

USO ATUAL – Área de Conservação Ambiental Federal (FLONA Carajás).

OBSERVAÇÃO – O perfil está localizado no fora do Capão Florestal sobre lajedo de canga, apresentou alta deposição de material orgânico.

COLETADO POR – Patanjaly Barbosa de Andrade, Carlos Ernesto Schaefer, Guilherme Resende Corrêa, Hugo Galvão Cândido e Wendelo Costa.



Figura 38. Na seção superior perfil de NEOSSOLO LITÓLICO Hístico típico. Abaixo, visão geral do Campo Rupestre Arbustivo próximo ao Capão Florestal.

PERFIL – P13

DESCRIÇÃO GERAL

DATA – 09/07/2017

LOCALIZAÇÃO – 50°17'55''W 6°01'30''S, Platô N1, Caverna N1-0174, Serra dos Carajás – PA.

CLASSIFICAÇÃO - PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário cambissólico.

ALTITUDE – 597 m.

LITOLOGIA – Conglomerado laterítico.

GEOLOGIA - Arqueano, Supergrupo Itacaiúnas, Grupo Grão-Pará, Contato entre Formação Parauapebas e Formação Carajás (Borda do Platô).

MATERIAL ORIGINÁRIO –BIF com Soleiras Máficas (Macambira, 2003).

PEDREGOSIDADE – Muito pedregosa.

ROCHOSIDADE – Muito Rochosa.

RELEVO REGIONAL – Plano e suave ondulado.

RELEVO LOCAL– Suave ondulado.

EROSÃO, CLASSE DE EROSÃO – Erosão hídrica, ligeira.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Ombrófila Aberta ou Mata de Encosta.

USO ATUAL – Área de Conservação Ambiental Federal (FLONA Carajás).

OBSERVAÇÃO – O perfil está localizado na seção de encosta da vertente, em seu centro onde ocorrem blocos coluviais abundantes. Apresentou atração magnética elevada.

COLETADO POR – Patanjaly Barbosa de Andrade, Carlos Ernesto Schaefer, Guilherme Resende Corrêa, Hugo Galvão Cândido e Wendelo Costa.



Figura 39. No canto superior esquerdo, perfil de PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário cambissólico, com raízes abundantes e blocos de canga colúviais na seção controle do perfil. No canto superior direito e na figura abaixo das citadas, visão geral da Floresta Ombrófila Aberta ou Mata de Encosta.

PERFIL – P14

DESCRIÇÃO GERAL

DATA – 09/07/2017

LOCALIZAÇÃO – 50°17'55''W 6°01'32''S, Platô N1, Cavidade N1-0174, Serra dos Carajás – PA.

CLASSIFICAÇÃO - PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico petroplíntico, Tb.

ALTITUDE – 594 m.

LITOLOGIA – Conglomerado laterítico.

GEOLOGIA - Arqueano, Supergrupo Itacaiúnas, Grupo Grão-Pará, Contato entre Formação Parauapebas e Formação Carajás (Borda do Platô).

MATERIAL ORIGINÁRIO –BIF com Soleiras Máficas (Macambira, 2003).

PEDREGOSIDADE – Muito pedregosa.

ROCHOSIDADE – Muito Rochosa.

RELEVO REGIONAL – Plano e suave ondulado.

RELEVO LOCAL– Suave ondulado.

EROSÃO, CLASSE DE EROSÃO – Erosão hídrica, ligeira.

DRENAGEM – Moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Ombrófila Aberta ou Mata de Encosta.

USO ATUAL – Área de Conservação Ambiental Federal (FLONA Carajás).

OBSERVAÇÃO – O perfil está localizado na seção de encosta da vertente, com deposição coluvial de blocos de canga abundantes. Apresentou atração magnética elevada, e alto teor de argila em profundidade.

COLETADO POR – Patanjaly Barbosa de Andrade, Carlos Ernesto Schaefer, Guilherme Resende Corrêa, Hugo Galvão Cândido e Wendelo Costa.



Figura 40. A esquerda perfil de PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico petroplúntico, Tb, com raízes abundantes e blocos de canga coluviais na seção controle do perfil. À direita, visão geral da Floresta Ombrófila Aberta ou Mata de Encosta.

PERFIL – P15

DESCRIÇÃO GERAL

DATA – 10/07/2017

LOCALIZAÇÃO – 50°19'20''W 6°07'10''S, Platô N4WS (Vale da Lua), cavidade N4WS-0067, Serra dos Carajás – PA.

CLASSIFICAÇÃO - PLINTOSSOLO PÉTRICO Litoplântico típico.

ALTITUDE – 568 m.

LITOLOGIA – Jaspilito e Conglomerado laterítico.

GEOLOGIA - Arqueano, Supergrupo Itacaiúnas, Grupo Grão-Pará, Formação Carajás - BIF com soleiras de Basalto (Macambira, 2003; Abreu *et al*, 2016).

MATERIAL ORIGINÁRIO – BIF com Soleiras Máficas (Macambira, 2003).

PEDREGOSIDADE – Muito pedregosa.

ROCHOSIDADE – Muito Rochosa.

RELEVO REGIONAL – Suave ondulado.

RELEVO LOCAL – Plano.

EROSÃO, CLASSE DE EROSÃO – Erosão hídrica, não aparente.

DRENAGEM – Imperfeitamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Sem Vegetação.

USO ATUAL – Área de Conservação Ambiental Federal (FLONA Carajás).

OBSERVAÇÃO – O perfil está localizado no interior da cavidade em uma reentrância à esquerda, formada pela dissolução lateral da parede da caverna. Apresentou alta quantidade de guano depositado e forte atração magnética.

COLETADO POR – Patanjaly Barbosa de Andrade, Carlos Ernesto Schaefer, Guilherme Resende Corrêa, Hugo Galvão Cândido e Wendelo Costa.



Figura 41. Acima perfil de PLINTOSSOLO PÉTRICO Litoplíntico típico, com crosta fosfática superficial evidente nos primeiros 4 cm. Abaixo figura da reentrância da cavidade onde o perfil foi coletado.

PERFIL – P16

DESCRIÇÃO GERAL

DATA – 10/07/2017

LOCALIZAÇÃO – 50°19'20''W 6°07'10''S, Platô N4WS (Vale da Lua), cavidade N4WS-0067, Serra dos Carajás – PA.

CLASSIFICAÇÃO - NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico fragmentário, A moderado.

ALTITUDE – 568 m.

LITOLOGIA – Jaspilito e Conglomerado laterítico.

GEOLOGIA - Arqueano, Supergrupo Itacaiúnas, Grupo Grão-Pará, Formação Carajás - BIF com soleiras de Basalto (Macambira, 2003; Abreu *et al*, 2016).

MATERIAL ORIGINÁRIO – BIF com Soleiras Máficas (Macambira, 2003).

PEDREGOSIDADE – Muito pedregosa.

ROCHOSIDADE – Muito Rochosa.

RELEVO REGIONAL – Suave ondulado.

RELEVO LOCAL – Plano.

EROSÃO, CLASSE DE EROSÃO – Erosão hídrica, não aparente.

DRENAGEM – Imperfeitamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Sem Vegetação.

USO ATUAL – Área de Conservação Ambiental Federal (FLONA Carajás).

OBSERVAÇÃO – O perfil está localizado no interior da cavidade, em salão central, logo abaixo da claraboia, apresenta raízes abundantes, algumas dessas raízes descem pela claraboia e apresenta diâmetro superior à 10 cm.

COLETADO POR – Patanjaly Barbosa de Andrade, Carlos Ernesto Schaefer, Guilherme Resende Corrêa, Hugo Galvão Cândido e Wendelo Costa.



Figura 42. A esquerda perfil NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico fragmentário, A moderado, com grande abundancia de raízes. A direita foto de várias raízes de diâmetro superior a 10 cm adentrando na cavidade através da claraboia e repousando próximo ao perfil coletado.

PERFIL – P17

DESCRIÇÃO GERAL

DATA – 10/07/2017

LOCALIZAÇÃO – 50°19'20''W 6°07'10''S, Platô N4WS (Vale da Lua), cavidade N4WS-0067, Serra dos Carajás – PA.

CLASSIFICAÇÃO - PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico abruptico, Tb.

ALTITUDE – 568 m.

LITOLOGIA – Jaspilito e Conglomerado laterítico.

GEOLOGIA - Arqueano, Supergrupo Itacaiúnas, Grupo Grão-Pará, Formação Carajás - BIF com soleiras de Basalto (Macambira, 2003; Abreu *et al*, 2016).

MATERIAL ORIGINÁRIO – BIF com Soleiras Máficas (Macambira, 2003).

PEDREGOSIDADE – Muito pedregosa.

ROCHOSIDADE – Muito Rochosa.

RELEVO REGIONAL – Suave ondulado.

RELEVO LOCAL – Plano.

EROSÃO, CLASSE DE EROSÃO – Erosão hídrica, não aparente.

DRENAGEM – Imperfeitamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Sem Vegetação.

USO ATUAL – Área de Conservação Ambiental Federal (FLONA Carajás).

OBSERVAÇÃO – O perfil está localizado no interior da cavidade próximo à entrada. Ocorre a presença de alguns musgos sobre o perfil devido à alta umidade e por estar localizado no fluxo preferencial de drenagem da cavidade.

COLETADO POR – Patanjaly Barbosa de Andrade, Carlos Ernesto Schaefer, Guilherme Resende Corrêa, Hugo Galvão Cândido e Wendelo Costa.



Figura 43. A esquerda perfil PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico abrupto, Tb, foco nas unidades estruturais indicando forte grau de desenvolvimento, na figura no canto superior direito. No canto inferior direito, visão geral do local de coleta, logo na entrada da cavidade.

PERFIL – P18

DESCRIÇÃO GERAL

DATA – 10/07/2017

LOCALIZAÇÃO – 50°19'20''W 6°07'10''S, Platô N4WS (Vale da Lua), cavidade N4WS-0067, Serra dos Carajás – PA.

CLASSIFICAÇÃO - NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico fragmentário.

ALTITUDE – 568 m.

LITOLOGIA – Jaspilito e Conglomerado laterítico.

GEOLOGIA - Arqueano, Supergrupo Itacaiúnas, Grupo Grão-Pará, Formação Carajás - BIF com soleiras de Basalto (Macambira, 2003; Abreu *et al*, 2016).

MATERIAL ORIGINÁRIO – BIF com Soleiras Máficas (Macambira, 2003).

PEDREGOSIDADE – Muito pedregosa.

ROCHOSIDADE – Muito Rochosa.

RELEVO REGIONAL – Suave ondulado.

RELEVO LOCAL – Plano.

EROSÃO, CLASSE DE EROSÃO – Erosão hídrica, não aparente.

DRENAGEM – Imperfeitamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Sem Vegetação.

USO ATUAL – Área de Conservação Ambiental Federal (FLONA Carajás).

OBSERVAÇÃO – O perfil está localizado no centro da cavidade. O perfil possui uma camada de coloração branca onde ocorreu a precipitação de fosfatos capeando nódulos ferruginosos de hematita compacta.

COLETADO POR – Patanjaly Barbosa de Andrade, Carlos Ernesto Schaefer, Guilherme Resende Corrêa, Hugo Galvão Cândido e Wendelo Costa.



Figura 44. A esquerda perfil NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico fragmentário, presença de crosta fosfática à 3 cm de profundidade. No canto superior direito visão do local de coleta de dentro da cavidade, vista para a entrada; no canto inferior direito visão do local de coleta do perfil da entrada para o interior da cavidade.

PERFIL – P19

DESCRIÇÃO GERAL

DATA – 10/07/2017

LOCALIZAÇÃO – 50°19'20''W 6°07'10''S, Platô N4WS (Vale da Lua), cavidade N4WS-0067, Serra dos Carajás – PA.

CLASSIFICAÇÃO - NEOSSOLO LITÓLICO Hístico típico.

ALTITUDE – 558 m.

LITOLOGIA – Jaspilito e Conglomerado laterítico.

GEOLOGIA - Arqueano, Supergrupo Itacaiúnas, Grupo Grão-Pará, Formação Carajás - BIF com soleiras de Basalto (Macambira, 2003; Abreu *et al*, 2016).

MATERIAL ORIGINÁRIO – BIF com Soleiras Máficas (Macambira, 2003).

PEDREGOSIDADE – Muito pedregosa.

ROCHOSIDADE – Muito Rochosa.

RELEVO REGIONAL – Suave ondulado.

RELEVO LOCAL – Suave Ondulado.

EROSÃO, CLASSE DE EROSÃO – Erosão hídrica, ligeira.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Capão Florestal.

USO ATUAL – Área de Conservação Ambiental Federal (FLONA Carajás).

OBSERVAÇÃO – O perfil está localizado no Capão Florestal, logo na saída da cavidade. A região corresponde a seção de encosta da vertente, onde ocorrem blocos coluviais em grande quantidade, a declividade neste local é superior à da encosta de N1-0174. Solo apresentou alta atividade magnética.

COLETADO POR – Patanjaly Barbosa de Andrade, Carlos Ernesto Schaefer, Guilherme Resende Corrêa, Hugo Galvão Cândido e Wendelo Costa.



Figura 45. No canto superior esquerdo perfil de NEOSSOLO LITÓLICO Hístico típico, com blocos coluviais a partir dos 10 cm do horizonte A. No canto superior direito, visão geral do local de coleta com fitofisionomia de Capão Florestal. Abaixo imagem realçada de bloco coluvial recoberto por grãos simples.

PERFIL – P20

DESCRIÇÃO GERAL

DATA – 10/07/2017

LOCALIZAÇÃO – 50°19'20''W 6°07'10''S, Platô N4WS (Vale da Lua), cavidade N4WS-0067, Serra dos Carajás – PA.

CLASSIFICAÇÃO - NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico fragmentário.

ALTITUDE – 545 m.

LITOLOGIA – Jaspilito e Conglomerado laterítico.

GEOLOGIA - Arqueano, Supergrupo Itacaiúnas, Grupo Grão-Pará, Formação Carajás - BIF com soleiras de Basalto (Macambira, 2003; Abreu *et al*, 2016).

MATERIAL ORIGINÁRIO – BIF com Soleiras Máficas (Macambira, 2003).

PEDREGOSIDADE – Muito pedregosa.

ROCHOSIDADE – Muito Rochosa.

RELEVO REGIONAL – Suave ondulado.

RELEVO LOCAL – Suave Ondulado.

EROSÃO, CLASSE DE EROSÃO – Erosão hídrica, ligeira.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Capão Florestal.

USO ATUAL – Área de Conservação Ambiental Federal (FLONA Carajás).

OBSERVAÇÃO – O perfil está localizado no Capão Florestal a 20 m da entrada da cavidade. A região corresponde à seção de encosta da vertente, onde ocorrem blocos coluviais em grande quantidade, a declividade neste local é superior à da encosta de N1-0174. Solo apresentou alta atividade magnética.

COLETADO POR – Patanjaly Barbosa de Andrade, Carlos Ernesto Schaefer, Guilherme Resende Corrêa, Hugo Galvão Cândido e Wendelo Costa.

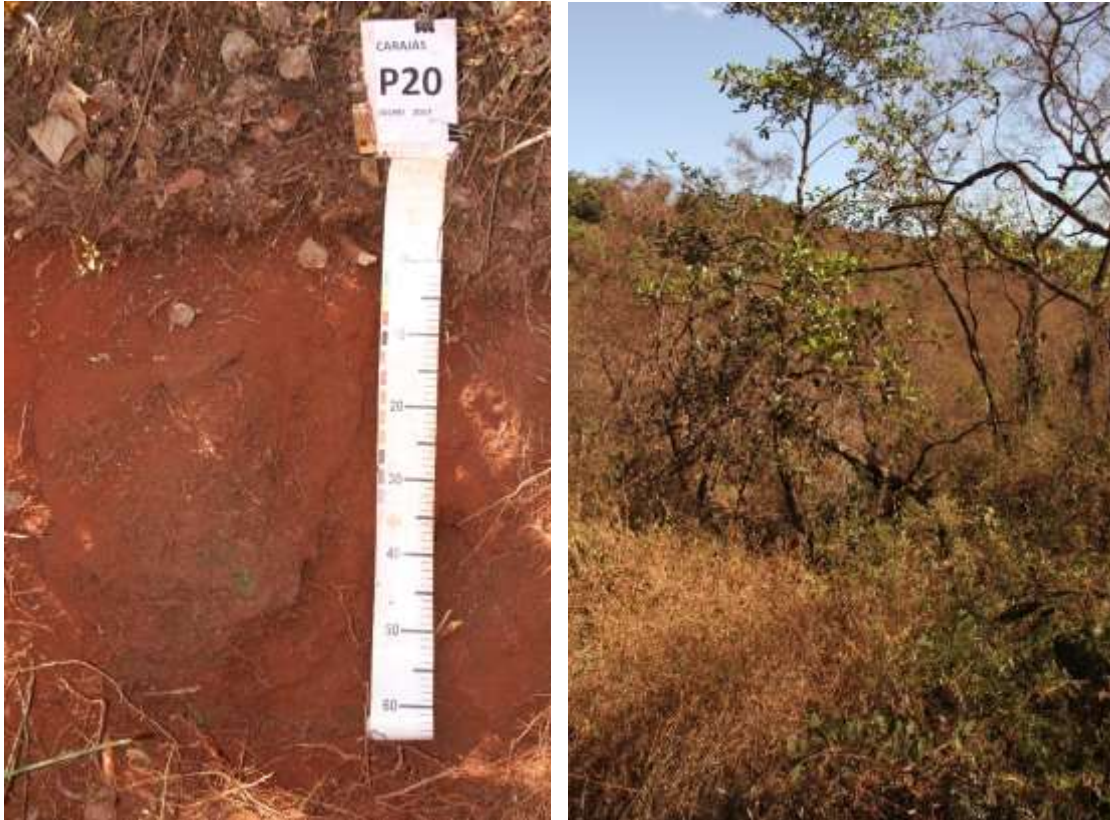


Figura 46. A esquerda perfil de NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico fragmentário, com grande bloco de canga ao longo do perfil. A direita visão geral do Capão Florestal onde o perfil foi coletado.

PERFIL – P21

DESCRIÇÃO GERAL

DATA – 12/07/2017

LOCALIZAÇÃO – 50°20'52"W 6°23'59"S, Platô S11D, cavidade sem identificação pelo CECAV, Serra dos Carajás – PA.

CLASSIFICAÇÃO - PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário latossólico.

ALTITUDE – 774 m

LITOLOGIA – Jaspilito e Conglomerado laterítico.

GEOLOGIA - Arqueano, Supergrupo Itacaiúnas, Grupo Grão-Pará, Formação Carajás - BIF com soleiras de Basalto (Macambira, 2003; Cabral *et al*, 2016).

MATERIAL ORIGINÁRIO – BIF com Soleiras Máficas (Macambira, 2003).

PEDREGOSIDADE – Muito pedregosa.

ROCHOSIDADE – Muito Rochosa.

RELEVO REGIONAL – Plano.

RELEVO LOCAL – Plano.

EROSÃO, CLASSE DE EROSÃO – Erosão hídrica, não aparente.

DRENAGEM – Moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Sem vegetação.

USO ATUAL – Área de Conservação Ambiental Federal (FLONA Carajás).

OBSERVAÇÃO – O perfil está localizado no interior da cavidade no primeiro salão, apresentou fragmentos de jaspilito ao longo do perfil e raízes abundantes. Apresentou fraca atração magnética.

COLETADO POR – Patanjaly Barbosa de Andrade, Carlos Ernesto Schaefer, Guilherme Resende Corrêa, Hugo Galvão Cândido e Wendelo Costa.



Figura 47. A esquerda perfil de PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário latossólico, com raízes abundantes ao longo de toda a seção de controle. No canto superior direito visão do perfil para fora da cavidade, e no canto inferior direito visão do local de coleta no interior da cavidade.

PERFIL – P22

DESCRIÇÃO GERAL

DATA – 12/07/2017

LOCALIZAÇÃO – 50°20'52"W 6°23'59"S, Platô S11D, cavidade sem identificação pelo CECAV, Serra dos Carajás – PA.

CLASSIFICAÇÃO - PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário latossólico.

ALTITUDE – 774 m

LITOLOGIA – Jaspilito e Conglomerado laterítico.

GEOLOGIA - Arqueano, Supergrupo Itacaiúnas, Grupo Grão-Pará, Formação Carajás - BIF com soleiras de Basalto (Macambira, 2003; Cabral *et al*, 2016).

MATERIAL ORIGINÁRIO – BIF com Soleiras Máficas (Macambira, 2003).

PEDREGOSIDADE – Muito pedregosa.

ROCHOSIDADE – Muito Rochosa.

RELEVO REGIONAL – Plano.

RELEVO LOCAL – Plano.

EROSÃO, CLASSE DE EROSÃO – Erosão hídrica, não aparente.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Capão Florestal.

USO ATUAL – Área de Conservação Ambiental Federal (FLONA Carajás).

OBSERVAÇÃO – O perfil está localizado no centro do Capão Florestal, apresentou atração magnética forte.

COLETADO POR – Patanjaly Barbosa de Andrade, Carlos Ernesto Schaefer, Guilherme Resende Corrêa, Hugo Galvão Cândido e Wendelo Costa.



Figura 48. A esquerda perfil de PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário latossólico, com raízes abundantes de diâmetro finas a grossas. A direita visão geral da região central do Capão Florestal onde o perfil foi coletado.

PERFIL – P23

DESCRIÇÃO GERAL

DATA – 12/07/2017

LOCALIZAÇÃO – 50°20'52"W 6°23'59"S, Platô S11D, cavidade sem identificação pelo CECAV, Serra dos Carajás – PA.

CLASSIFICAÇÃO - PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário cambissólico.

ALTITUDE – 774 m

LITOLOGIA – Jaspilito e Conglomerado laterítico.

GEOLOGIA - Arqueano, Supergrupo Itacaiúnas, Grupo Grão-Pará, Formação Carajás - BIF com soleiras de Basalto (Macambira, 2003; Cabral *et al*, 2016).

MATERIAL ORIGINÁRIO – BIF com Soleiras Máficas (Macambira, 2003).

PEDREGOSIDADE – Muito pedregosa.

ROCHOSIDADE – Muito Rochosa.

RELEVO REGIONAL – Plano.

RELEVO LOCAL – Plano.

EROSÃO, CLASSE DE EROSÃO – Erosão hídrica, não aparente.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Capão Florestal.

USO ATUAL – Área de Conservação Ambiental Federal (FLONA Carajás).

OBSERVAÇÃO – O perfil está localizado no centro do Capão Florestal, apresentou atração magnética forte. Os horizontes superficiais contêm carvão e raízes abundantes desde muito finas a muito grossas.

COLETADO POR – Patanjaly Barbosa de Andrade, Carlos Ernesto Schaefer, Guilherme Resende Corrêa, Hugo Galvão Cândido e Wendelo Costa.



Figura 49. Acima perfil de PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário cambissólico, com com carvão superficialmente, e forte atração magnética. Abaixo visão geral do final do Capão Florestal.

PERFIL – P24

DESCRIÇÃO GERAL

DATA – 12/07/2017

LOCALIZAÇÃO – 50°20'52"W 6°23'59"S, Platô S11D, cavidade sem identificação pelo CECAV, Serra dos Carajás – PA.

CLASSIFICAÇÃO - NEOSSOLO LITÓLICO Hístico típico.

ALTITUDE – 774 m

LITOLOGIA – Jaspilito e Conglomerado laterítico.

GEOLOGIA - Arqueano, Supergrupo Itacaiúnas, Grupo Grão-Pará, Formação Carajás - BIF com soleiras de Basalto (Macambira, 2003; Cabral *et al*, 2016).

MATERIAL ORIGINÁRIO – BIF com Soleiras Máficas (Macambira, 2003).

PEDREGOSIDADE – Muito pedregosa.

ROCHOSIDADE – Muito Rochosa.

RELEVO REGIONAL – Plano.

RELEVO LOCAL – Plano.

EROSÃO, CLASSE DE EROSÃO – Erosão hídrica, não aparente.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Campo Rupestre Aberto de *Vellozia glauca*.

USO ATUAL – Área de Conservação Ambiental Federal (FLONA Carajás).

OBSERVAÇÃO – O perfil está localizado afastado das imediações do Capão Florestal.

COLETADO POR – Patanjaly Barbosa de Andrade, Carlos Ernesto Schaefer, Guilherme Resende Corrêa, Hugo Galvão Cândido e Wendelo Costa.



Figura 50. Acima perfil de NEOSSOLO LITÓLICO Hístico típico. Abaixo visão geral do Campo Rupestre Aberto com *Vellozia glauca*, com mina de S11D ao fundo.

PERFIL – P25

DESCRIÇÃO GERAL

DATA – 12/07/2017

LOCALIZAÇÃO – 50°20'52"W 6°23'59"S, Platô S11D, cavidade sem identificação pelo CECAV, Serra dos Carajás – PA.

CLASSIFICAÇÃO - NEOSSOLO LITÓLICO Hístico típico.

ALTITUDE – 774 m

LITOLOGIA – Jaspilito e Conglomerado laterítico.

GEOLOGIA - Arqueano, Supergrupo Itacaiúnas, Grupo Grão-Pará, Formação Carajás - BIF com soleiras de Basalto (Macambira, 2003; Cabral *et al*, 2016).

MATERIAL ORIGINÁRIO – BIF com Soleiras Máficas (Macambira, 2003).

PEDREGOSIDADE – Muito pedregosa.

ROCHOSIDADE – Muito Rochosa.

RELEVO REGIONAL – Plano.

RELEVO LOCAL – Plano.

EROSÃO, CLASSE DE EROSÃO – Erosão hídrica, não aparente.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Campo Rupestre Arbustivo.

USO ATUAL – Área de Conservação Ambiental Federal (FLONA Carajás).

OBSERVAÇÃO – O perfil está localizado fora da cavidade logo acima da sua entrada.

COLETADO POR – Patanjaly Barbosa de Andrade, Carlos Ernesto Schaefer, Guilherme Resende Corrêa, Hugo Galvão Cândido e Wendelo Costa.



Figura 51. Acima perfil de NEOSSOLO LITÓLICO Histórico típico. Abaixo visão geral do Campo Rupestre Arbustivo.

PERFIL – P26

DESCRIÇÃO GERAL

DATA – 12/07/2017

LOCALIZAÇÃO – 50°19'20''W 6°07'10''S, Platô N4WS (Vale da Lua), cavidade N4WS-0067, Serra dos Carajás – PA.

CLASSIFICAÇÃO - NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico fragmentário, A moderado.

ALTITUDE – 568 m.

LITOLOGIA – Jaspilito e Conglomerado laterítico.

GEOLOGIA - Arqueano, Supergrupo Itacaiúnas, Grupo Grão-Pará, Formação Carajás - BIF com soleiras de Basalto (Macambira, 2003; Abreu *et al*, 2016).

MATERIAL ORIGINÁRIO – BIF com Soleiras Máficas (Macambira, 2003).

PEDREGOSIDADE – Muito pedregosa.

ROCHOSIDADE – Muito Rochosa.

RELEVO REGIONAL – Suave ondulado.

RELEVO LOCAL – Suave ondulado.

EROSÃO, CLASSE DE EROSÃO – Erosão hídrica, não aparente.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Campo Rupestre Arbustivo.

USO ATUAL – Área de Conservação Ambiental Federal (FLONA Carajás).

OBSERVAÇÃO – O perfil está localizado fora da caverna ao lado da claraboia, por onde entram raízes de diâmetro superiores à 10 cm.

COLETADO POR – Patanjaly Barbosa de Andrade, Carlos Ernesto Schaefer, Guilherme Resende Corrêa, Hugo Galvão Cândido e Wendelo Costa.



Figura 52. Acima perfil de NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico fragmentário, A moderado. Abaixo no canto inferior esquerdo, visão geral do Campo Rupestre Arbustivo, e à direita visão da claraboia ao lado do perfil.

CAPÍTULO II: RELAÇÕES SOLO-VEGETAÇÃO EM GRADIENTE FITOFISSIONÔMICO NAS CAVIDADES NATURAIS SUBTERRÂNEAS FERRUGINOSAS DA SERRA DOS CARAJÁS – PA.

RESUMO

Comunidades vegetais no Geossistema Ferruginoso da Serra dos Carajás – Pará associados à Cavernas Naturais Subterrâneas foram estudadas ao longo do gradiente fitofissionômico. O estudo teve como objetivo analisar a composição das comunidades vegetais associadas a cavernas naturais nos três platôs da Serra dos Carajás (N1, N4WS e S11D) e sua relação com fatores pedológicos. A vegetação foi amostrada a partir de parcelas de 10 m x 10 m distribuídas ao longo de 4 principais fitofisionomias associadas à cavernas; as amostras de solos foram coletadas em cada parcela à 10 cm de profundidade. As amostras de solos foram analisadas quanto aos seus atributos físicos e químicos e a densidade de indivíduos por parcela amostrada foi quantificada. Os solos de todas as fitofisionomias estudadas em geral apresentaram baixa CTC efetiva, elevados teores de Al^{3+} no complexo de troca, valores elevados de Ferro e elevada acidez e distrofismo, com solos ligeiramente mais ricos quimicamente em N4 em relação à N1 e S11. A composição florística das fitofisionomias florestais foram mais semelhantes entre si e distinguiram significativamente das de Campos Rupestres Ferruginosos, sendo os ambientes florestados mais ricos em espécies em relação aos ambientes de campo. A localização das cavernas em distintos platôs estudados teve comunidades vegetacionais com composição distintas, indicando que diferentes platôs podem apresentar comunidades vegetacionais próprias, essa observação foi reforçada pela diferenciação significativa na composição florística dos três Capões Florestais estudados em cada região. Portanto foi possível inferir que os fatores pedológicos são cruciais para distinguir os tipos de fitofisionomias, sua composição e estrutura associadas à Cavernas Naturais, sendo os atributos dos solos os principais responsáveis (drivers) por esses padrões.

Palavras-chave: Fitossociologia, Cavernas, Florística, Ecologia, Comunidades.

ABSTRACT

Vegetal communities in the Ferruginous Geosystem of the Serra dos Carajás – Pará State associated with Natural Underground Cavities were studied along an phytophysionomic gradient. The objective of the study was to evaluate the floristic composition of vegetal communities associated with the Natural Cavities of three plateaus in the Serra dos Carajás (N1, N4WS and S11D) and its relation with pedological factors. The vegetation was sampled using plots of 10 m x 10 m distributed along 4 phytophysionomies associated with caves; the soil samples were collected in each plot at 10 cm depth. Soil samples were analyzed as to its physical and chemical attributes and the density of individuals was quantified in each plot. The soils of all phytophysionomies in general presented in general low effective CEC, high levels of Al^{3+} in the exchange complex of the soil, high values of iron and high acidity and dystrophism, with soils slightly richer in N4 compared with N1 and S11. The floristic composition of the forested phytophysionomies were more similar and distinguish significantly of the Rupestrian Grasslands, being the forested environments richer in species in relation to grasslands environments. The location of the cavities in distinctive plateaus showed different composition of vegetal communities, this may be a indicator that distinctive plateaus presents their own vegetal communities, this observation was reinforced by the significant differences between the community composition of the three “Capão” forests studied. Therefore was possible to infer that pedological factors are crucial to distinguish the types of phytophysionomies, their composition and structure associated with Natural Cavities, being the soil attributes the main drivers of this patterns.

Key-words: Phytosociology, Cave, Floristic, Ecology, Community.

INTRODUÇÃO

As cavernas são recursos naturais extremamente valiosos, hospedando uma grande variedade de nichos, muitas vezes únicos. Concentram uma alta riqueza de plantas e animais, incluindo espécies endêmicas, além dos habitats únicos para a elevada quantidade de microrganismos encontrados no interior dos ambientes cársticos (BARTON, 2006). O ambiente cavernícola exerce importante papel na manutenção da diversidade e estrutura dos ecossistemas adjacentes através principalmente das interações entre morcegos e plantas. As plantas são a principal fonte de recursos orgânicos para manutenção da biota no interior da caverna, em troca os morcegos polinizam e dispersam sementes que auxiliam na manutenção de espécies (DONATO *et al*, 2014). Além dos morcegos, uma infinidade de invertebrados depende exclusivamente da cavidade e dos recursos do ambiente adjacente para reprodução e sobrevivência (FERREIRA, 2004). Outra notável importância ecológica é que as cavidades em geral funcionam como verdadeiros *hot-spots* de riqueza química, oriundo do guano dos morcegos. Através do ciclo biogeoquímico o guano dos morcegos, rico em P, S, N e outros nutrientes, faz com que a vegetação na entrada e saída de cavidades seja adensada, com um acúmulo alto em biomassa e elevada riqueza (SCHAEFER *et al*, 2012) (Figura 1). Essa alta disponibilidade de nutrientes fornecida pelo guano faz com que as comunidades de plantas adjacentes as cavidades tenham baixa similaridade com as fisionomias vizinhas, que não utilizam esse aporte nutricional para o desenvolvimento (NUNES *et al*, 2015; SCHAEFER *et al*, 2012).

O Geossistema Ferruginoso da Floresta Nacional de Carajás (FLONA) abriga em geral dois ambientes fitogeográficos distintos, um deles representado por florestas de grande porte com vegetação ombrófila tipicamente amazônica, que incluem os geoambientes das Florestas Ombrófilas Densas e Abertas, as Matas de Encosta e nas regiões dos topos aplainados (Platôs) os Capões Florestais; e outra formada por uma formação vegetacional tipicamente herbáceo-arbustiva, formada pelos geoambientes dos Campos Rupestres

Ferruginosos Abertos e Arbustivos que ocorrem exclusivamente associadas aos platôs lateríticos (AB'SABER, 1986; RIZZINI, 1979; VINCENT *et al*, 2002; VIANA E LOMBARDI, 2007; JACOBI *et al*, 2007; SCHAEFER *et al*, 2009). A diferenciação desses ambientes está diretamente relacionada com a natureza de seus solos e sua interconexão platô e vale.

Os Campos Rupestres Ferruginosos Abertos são áreas com alta rochividade e pedregosidade formadas sobre as cangas e jaspilites da Formação Carajás, seus solos são rasos (5 – 10 cm), e sua matéria orgânica é proveniente principalmente da deposição pela vegetação e por ação de térmitas; as espécies como *Vellozia glochidea* e *Sobralia liliastrum* são dominantes nesta vegetação. Os Campos Rupestres Ferruginosos Arbustivos também ocorrem sobre o manto laterítico dos platôs, com solos ligeiramente mais profundos (10 – 30 cm) e dominância de distintas espécies como por exemplo *Callistene minor*. Diferentes desses ambientes os Capões Florestais são notados nos platôs na forma de ilhas florestadas circulares normalmente associados às cavidades naturais; localizados em bolsões, formados pelo colapso do saprolito e acumulação coluvial de sedimento, com solos mais desenvolvidos e profundos (30 – 120 cm), *Pouteria Ramiflora* e *Sarcoglottis mattogrossensis* são espécies típicas dessa formação (SCHAEFER *et al*, 2016b). Uma das formações vegetacionais ainda pouco estudadas na Serra dos Carajás são as Matas de Encosta, matas altas de transição entre o platô e o vale que se encontram em conexão com matas do entorno, apresenta solos tão profundos quanto os dos Capões Florestais (CORREA, 2011; VASCONSELOS *et al*, 2016; SCHAEFER *et al*, 2018).

O estudo da relação entre solo e vegetação permite compreender como o conjunto de fatores edáficos, como atributos físicos e químicos dos solos influencia na estrutura e composição das comunidades vegetais. O presente trabalho teve como objetivo analisar a composição florística e estrutura da comunidade em três Cavidades Naturais Subterrâneas em três platôs da Serra dos Carajás (N1, N4WS e S11D) e sua relação com fatores pedológicos e com as cavidades.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

O Geossistema Ferruginoso da Serra dos Carajás no Estado do Pará está associado ao Grupo Grão Pará, com a presença de duas principais Formações geológicas a Formação Carajás, com predominância de cangas e jaspilitos (formações ferríferas bandadas - BIF's) (PEREIRA, 2009) e a Formação Parauapebas composta principalmente por derrames basálticos (MEIRELES, 1984). Distingue-se dos demais geossistemas ferruginosos por representar uma região de ecótono entre Floresta Amazônica e Cerrado (SCHAEFER *et al*, 2008a). A área apresenta feições geomorfológicas compostas por platôs suaves e de grande extensão variando de 600 – 700 m em altitude, a presença das couraças ferruginosas nestes platôs impede a ocorrência de uma floresta densa nas porções mais centrais formando clareiras que se destacam da vegetação florestal de borda que transaciona para a florestas densas nos vales ocupados pelas rochas máficas (TOLBERT *et al*, 1971; SCHAEFER *et al* 2008a). A região insere-se no clima tropical quente e úmido com duas estações bem marcadas sendo a seca de maio a outubro (TOLBERT *et al*, 1971; SCHAEFER *et al*, 2008a).

Inserido nos Platôs da Serra dos Carajás ocorrem cavidades ferruginosas com alta diversidade geológica e biológica que ocupam tanto a região central do platô como sua borda. No presente trabalho foram selecionadas três cavidades ferruginosas localizadas nos platôs de N1, cavidade N1-0174; N4, cavidade N4WS-0067 (Vale da Lua); e S11D, cavidade não registrada pelo Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (Fig. 1). As fitofisionomias identificadas em N1, incluíram o Campo Rupestre Arbustivo, Capão Florestal e Mata de Encosta; em N4WS, Campo Rupestre Arbustivo e Capão Florestal; e em S11D, Campo Rupestre Aberto, Campo Rupestre Arbustivo e Capão Florestal. As fitofisionomias semelhantes às três áreas foram os Campos Rupestres Ferruginosos Arbustivos e Capões Florestais (Fig. 2)

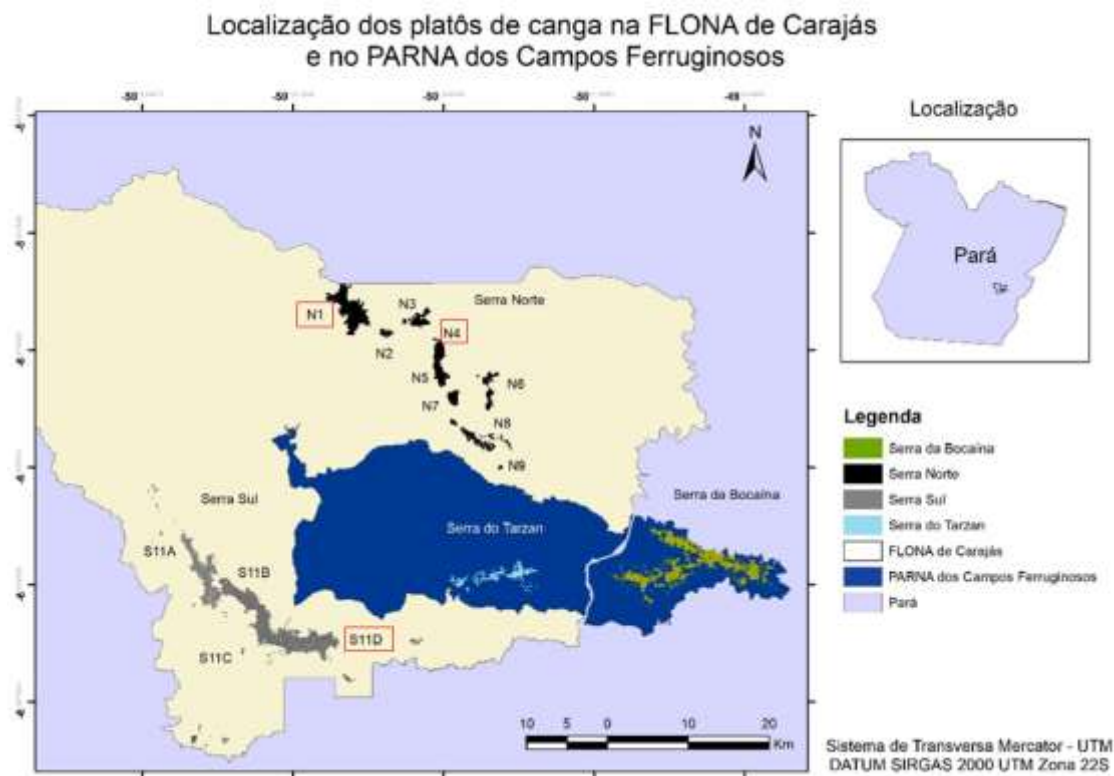


Figura 1. Localização dos platôs de canga na FLONA de Carajás. Em vermelho os Platôs onde estão localizadas as cavidades estudadas.



Figura 2. Visão geral das fitofisionomias estudadas. A = Transição de Campo Rupestre Arbustivo para Capão Florestal; B = Campo Rupestre Aberto; C = interior da Mata de Encosta; D = saída da cavidade para Mata de Encosta.

Coleta dos Dados

O levantamento botânico das espécies foi realizado a partir de um gradiente fitofissionômico. Foram distribuídas aleatoriamente parcelas de 10 m x 10 m em todas as fitofisionomias estudadas, totalizando 35 parcelas. Utilizou-se como critério de inclusão a circunferência acima do peito (CAP) de 10 cm, para as áreas florestadas (Capão e Mata de Encosta). Para os ambientes de Campos Rupestres Ferruginosos a composição florística foi levantada a partir do método de Braun-Blanquet (1979).

Foram coletadas três amostras de solos à 10 profundidade em cada parcela formando uma malha amostral com distância de 5 m entre cada amostra de solo. A malha amostral considerou variações de relevo e proximidade com as cavidades naturais estudadas. Posteriormente as amostras coletadas foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas em peneira de 2 mm de abertura de malha para a obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA), este material foi submetido a análises de acordo com os métodos descritos no manual de métodos e análises de solo (EMBRAPA, 1997). A TFSA foi analisada quanto a sua composição química determinando os teores de sódio (Na), saturação de sódio (ISNa), pH em H₂O e pH em KCl, fósforo Mehlich 1 (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), teor de alumínio (Al), acidez potencial (H + Al), teor de matéria orgânica (M.O), Saturação de Bases Trocáveis (V), Capacidade de Troca Catiônica Efetiva (t), Capacidade de troca catiônica a pH = 7,0 (T), fósforo remanescente (P-rem), Cobre (Cu), Manganês (Mn), Ferro (Fe), Zinco (Zn) e metais pesados, Cromo (Cr), Níquel (Ni), Cádmiio (Cd) e Chumbo (Pb). As análises físicas realizadas foram a separação das frações granulométricas, indicando os teores de Areia Grossa, Areia Fina, Silte e Argila.

Análise dos dados

A similaridade florística foi calculada a partir do índice da Jaccard (MAGURRAN, 2004). A riqueza entre as áreas e fitofisionomias estudadas foram acessadas à partir da análise de rarefação (SANDERS, 1968), e foram realizadas no programa R v.1.1.463. A análise da estrutura horizontal das comunidades foi realizada a no programa Mata Nativa 4, permitindo delimitar a Dominância Relativa, Frequência Relativa e Índice de Valor de Importância. Para verificar se as diferenças entre os atributos dos solos coletados foram significativamente diferentes entre si utilizou-se da análise de variância ANOVA, seguida do teste de Kruskal Wallis. Todos os dados foram testados quanto a sua normalidade e homogeneidade e transformados quando necessários, o nível de $p < 0.05$ de significância foi adotado.

O dimensionamento dos dados físicos e químicos dos solos foi analisado a partir do uso da análise de componentes principais (PCA). Para analisar a relação entre solo-vegetação utilizou-se da análise de Correspondência Canônica (CCA) (Ter barak & Prentice, 1987). As variáveis de solos para as matrizes secundárias da CCA e para a PCA foram padronizadas (logaritmizadas) com o objetivo de equalizar sua distribuição entre os eixos, apenas os valores de pH H₂O não foram transformados já que esses já estão expressos na escala logarítmica. A PCA foi rodada no programa R v.1.1.463, e a CCA no PC-ORD v. 6.0.

RESULTADOS

Composição Florística e Estrutura da Comunidade

Em todas as três cavidades estudadas (N1-0174 – N1; N4WS-0067 – N4; S11D – S11) foram contabilizados o total de 1125 indivíduos. Na análise fitossociológica obteve-se um total de 129 espécies que estão distribuídas entre 99 gêneros e 51 famílias. O número de espécies diferiu significativamente entre cavidades, com N1 contendo 79 espécies, N4 com 22 espécies e S11 com 32 espécies (Tab. 1). As famílias com mais espécies foram Fabaceae (14), Melastomataceae (9), Rubiaceae (8), Euphorbiaceae, Moraceae e Myrtaceae (6) e Sapotaceae (5). A maioria das famílias apresentaram número menor que 3 espécies (86,27 %). Para a fitofisionomia dos Capões Florestais o número de espécies por área diferiu pouco, com 30 espécies em N1, 20 espécies em N4 e 25 espécies em S11. No Capão de N1 predominou as famílias Euphorbiaceae e Myrtaceae (4), e Fabaceae (3); em N4, predominaram as famílias Fabaceae (4) e Myrtaceae (3); e em S11 predominou a família Melastomataceae (3) e as famílias Euphorbiaceae, Lauraceae, Moraceae e Myrtaceae (2).

Do número total de espécies identificadas 57% ocorreram exclusivamente em uma área, 17% foram comuns à dois locais, e 8% ocorreram nas três áreas. A similaridade florística das áreas de acordo com o índice de Jaccard foram: N4 e S11 (27%) > N1 e S11 (18%) > N1 e N4 (14%). Na fitofisionomia dos Capões Florestais 14% das espécies ocorreram em uma única área, 13% foram comuns à dois Capões, e apenas 6% tiveram mesma ocorrência. A similaridade florística entre os Capões Florestais de acordo com o índice de Jaccard foram: N1 e S11 (31%) > N4 e S11 (25%) > N1 e N4 (22%) (Fig. 3).

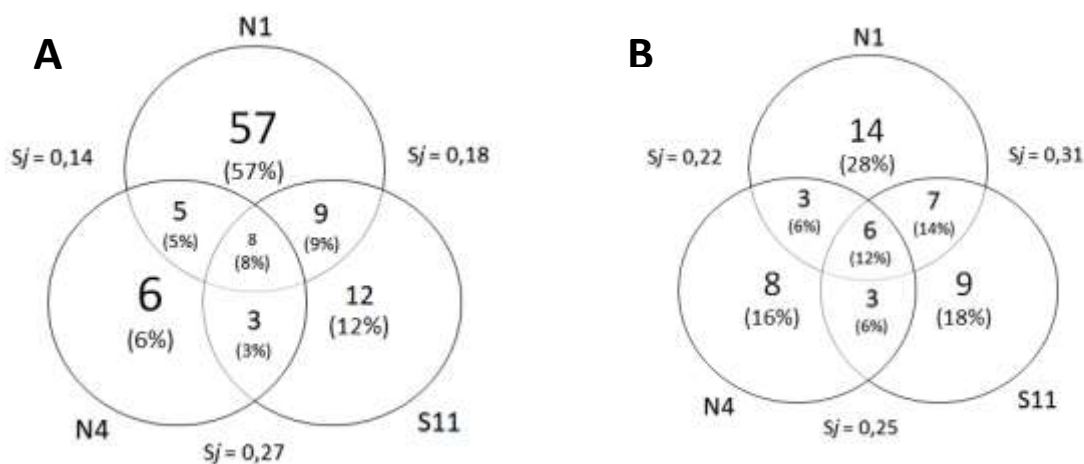


Figura 3. Diagrama de Venn com espécies exclusivas e compartilhadas dos três locais de estudo N1-0174 (N1), N4WS-0067 e S11D (A) e dos Capões Florestais (B). Sj: Coeficiente de Jaccard entre pares.

A análise de Rarefação (Sanders, 1968) permite a comparação objetiva da riqueza de espécies das áreas estudadas, principalmente quando o número de unidades amostrais varia por área. Esse método consiste na amostragem aleatória de indivíduos a partir das amostras coletadas, simulando a riqueza de espécies a partir da amostragem aleatória dos indivíduos em vários níveis de abundância. A partir da análise de rarefação, dada pela relação entre riqueza de espécies e número de unidades amostrais ou parcelas, foi possível distinguir a riqueza das três áreas estudadas (Fig. 4), das três principais fitofisionomias e entre os Capões Florestais das três regiões (Fig. 5). A fitofisionomia dos Campos Rupestres Ferruginosos Arbustivos e Campo Rupestres Abertos foram englobados como uma única fitofisionomia. Comparando todas as fitofisionomias das três regiões estudadas a região de N1 apresentou maior riqueza de espécies seguido de S11 e por último N4. Entre as fitofisionomias estudadas a que apresentou maior riqueza foi a Mata de Encosta, seguida dos Capões Florestais e o com menor número de espécies por área os Campos Rupestre. O Capão florestal de maior riqueza de espécies ocorreu na região de S11 enquanto os Capões Florestais de N1 e N4 tiveram valores semelhantes de riqueza por unidade amostral.

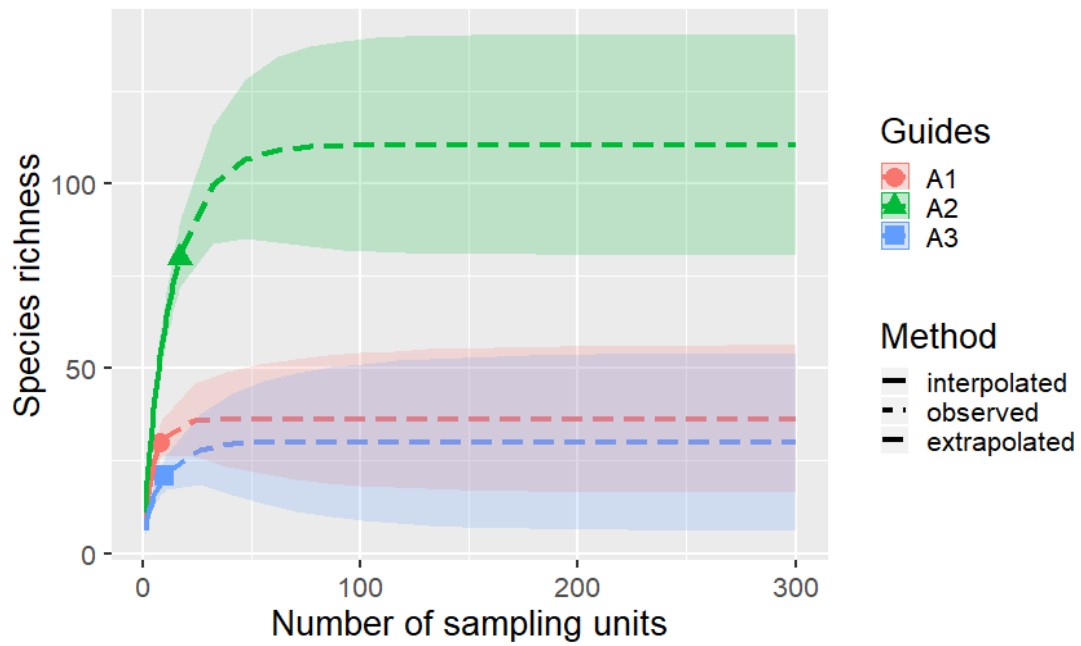


Figura 4. Gráficos da rarefação, relação entre riqueza de espécies e número de unidades amostras para as três regiões estudadas. A1 = S11; A2 = N1; A3 =N4.

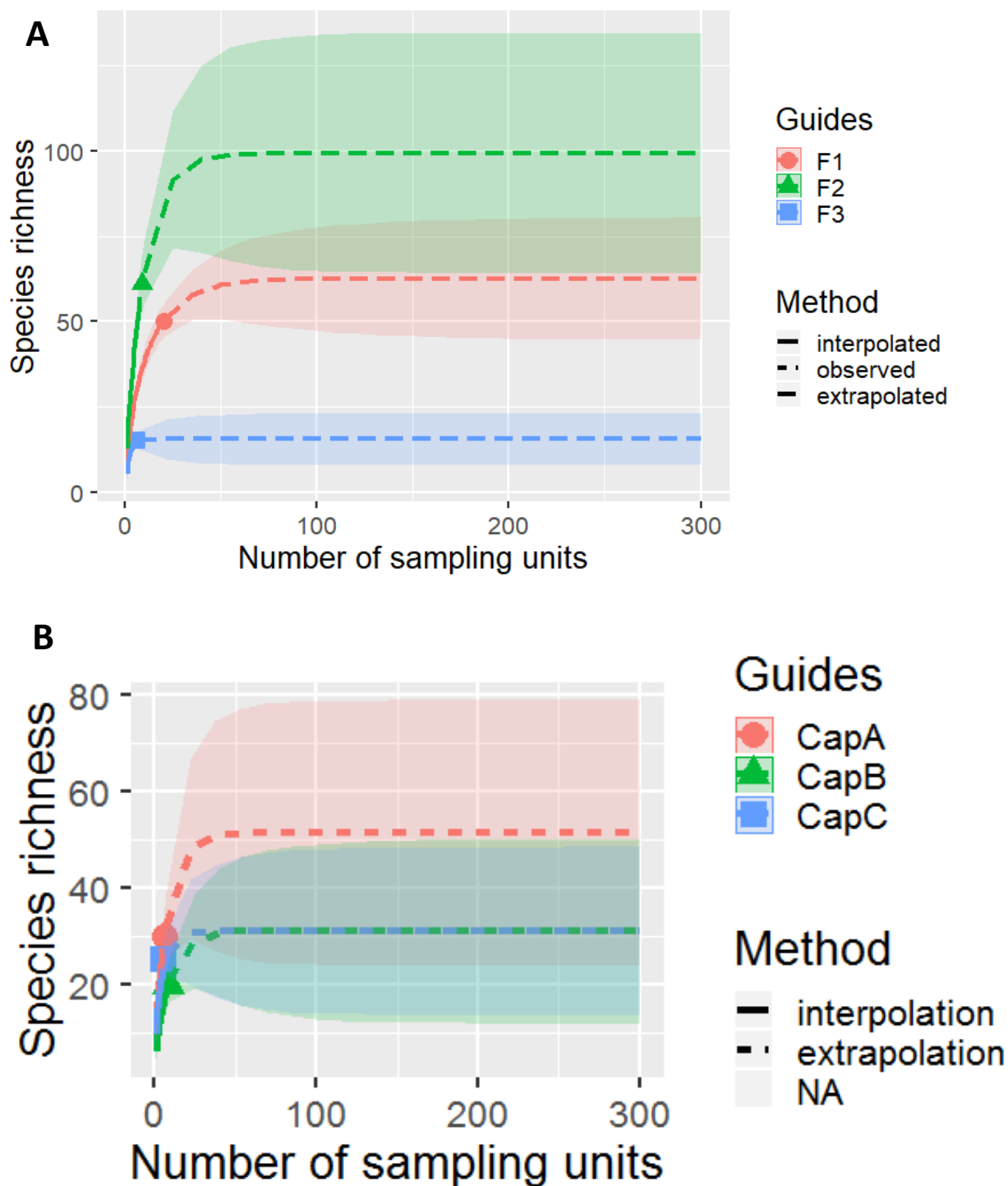


Figura 5. Gráficos da rarefação, relação entre riqueza de espécies e número de unidades amostras para as três fitofisionomias (A) e para os Capões Florestais de cada região (B). F1 = Capão Florestal, F2 = Mata de Encosta e F3 = Campos Rupestres Ferruginosos; CapA = S11; CapB = N1; CapC= N4.

A partir da análise da estrutura horizontal das três áreas estudadas (Tab. 2), foi observado que as espécies com maior DR e IVI para N1, N4 e S11 foram *Licania egleri* e *Aparisthium cordatum*; *Callisthene microphylla* e *Cereus hexagonus*; *Vellozia glauca* e *Sarcoglottis mattogrossensis* respectivamente. A FR seguiu o mesmo padrão de DR e IVI para N1, porém para N4 as espécies de maior FR foram *Callisthene microphylla* (13.43), seguido das espécies *Mimosa acustitipula* var. *ferrea* e *Bauhinia pulchella* (10.44) e para S11 *Matayba arborens* (8.95) e *Alchornea discolor*, *Mezilaurus itauba* e *Myrcia splendens* (7.45). A única espécie que ocorreu em comum nas três áreas, considerando os dez primeiros indivíduos de maior DR, foi *Matayba arborens*, com maior DR (11.53) e IVI (7.76) na região de S11, seguido de N1, DR (4,07) e IVI (6,47) e por último N4, DR (1.32) e IVI (2.09). Em N1 seu IVI foi superior em comparação à *Licania egleri*, espécie com maior DR na área. A região de N1 e N4 compartilham as espécies *Callisthene microphylla*, e *Mimosa acustitipula* var. *ferrea* dentre as dez mais dominantes com DR e IVI superiores em N4 do que em N1 para ambas espécies, sendo *Callisthene microphylla* a de maior DR e IVI em N4. Entre N4 e S11 *Pouteria ramiflora* também teve ocorrência comum dentre os dez primeiros indivíduos sendo seus valores de DR e IVI ligeiramente superiores em N4 (DR: 3.36; IVI: 5.56) do que em S11 (DR: 1.92; IVI: 4.47). Entre N1 e S11 *Myrcia splendens* e *Tapiria guianensis* foram as espécies de ocorrência comum, sendo a primeira com valores superiores de DR em N1 e valor inferior de IVI em relação à S11, para *Tapiria guianensis* os valores de DR e S11 foram superiores em N1. Entre N4 e S11 a única espécie além de *Matayba arborens* foi *Pouteria ramiflora* com valores superiores de DR, FR e IVI em N4 em relação à S11.

A Estrutura Horizontal para os três Capões Florestais (Tab. 3) indicou, dentre as dez primeiras espécies com maior DR, as espécies com maior DR e IVI para N1, N4 e S11: *Licania egleri* e *Myrcia Splendens*; *Callisthene microphylla* e *Mimosa acustitipula* var. *ferrea*; e *Sarcoglottis mattogrossensis* e *Matayba arborens*, respectivamente. Para os valores de FR os Capões Florestais de N1 e N4 tiveram as mesmas espécies que dominaram e com maior IVI, para o Capão Florestal de S11 a espécie de maior frequência foi *Matayba arborens* (9,83) seguido de *Alchornea discolor*, *Mezilaurus itauba* e *Myrcia splendens* (8.19). Entre os Capões Florestais de N1 e N4 a única espécie compartilhada

dentre as dez de maior dominância foi *Mimosa acustitipula* var. *ferrea* que teve maior DR (11.05), IVI (8.92) e FR (9.61) em N4 enquanto em N1 apresentou baixos valores de DR (2.87), IVI (1.96) e FR (3.03). Entre N1 e S11 ocorreram um maior número relativo de espécies semelhantes incluindo *Myrcia splendens* com maior DR e IVI em N1 porém com FR semelhante entre as áreas; *Sarcoglottis mattogrosensis* como espécie de maior dominância e importância em S11 (DR: 20.66; IVI: 11.21) e ocupando a nona posição em N1 (DR: 3.34; IVI 2.63); e *Tapirira guianensis* e *Mezilaurus itauba*, tendo a primeira maiores valores de DR, IVI e FR em S11 em relação à N1, e a segunda valores próximos de DR entre esses Capões Florestais, porém com maior IVI em S11 do que em N1, e maior FR em N1. Entre N4 e S11 as espécies *Pouteria ramiflora*, *Matayba arborescens* e *Eugenia puniceiflora* tiveram ocorrência comum, sendo a primeira com maiores valores de DR, IVI e FR em N4, a segunda com DR, IVI e FR superior em S11 e *Eugenia puniceiflora* com valores baixos de DR, IVI e FR para ambos os Capões Florestais. Não foram identificadas, dentro das dez primeiras espécies de maior DR, espécies comuns entre os três Capões Florestais estudados.

A análise da composição florística de cada fitofisionomia indicou uma clara separação entre Ambientes Florestados e de Campo. Os Campos Rupestres Ferruginosos Abertos e Arbustivos apresentaram uma composição vegetal distintas, ocorrendo uma maior proximidade florística entre a vegetação dos Campos Rupestres Ferruginosos Arbustivos com os Capões Florestais (Anexo).

Caracterização edáfica

A diferença das variáveis dos solos foi acessada para cada área de acordo com a análise de componentes principais (PCA1) e para as fitofisionomias (PCA2). Foram selecionados à partir do valor de importância ou contribuição as variáveis de maior significância, que incluíram a Saturação por Alumínio, pH em H₂O, Carbono Orgânico Total, Soma de Bases, Capacidade de Troca Catiônica Efetiva, Acidez Potencial, Fósforo mehlich 1, Fósforo Remanescente, Nitrogênio, Ferro, Manganês, Zinco, Areia e Argila, para cada área e para a análise das fitofisionomias a PCA ainda indicou Alumínio, Cálcio, Sódio, Potássio, Magnésio (Fig 6, em anexo); depois de selecionadas as PCA's foram rodada a fim de diferenciar as principais variáveis de solos em grupos por área e fitofissionomia (Fig 7).

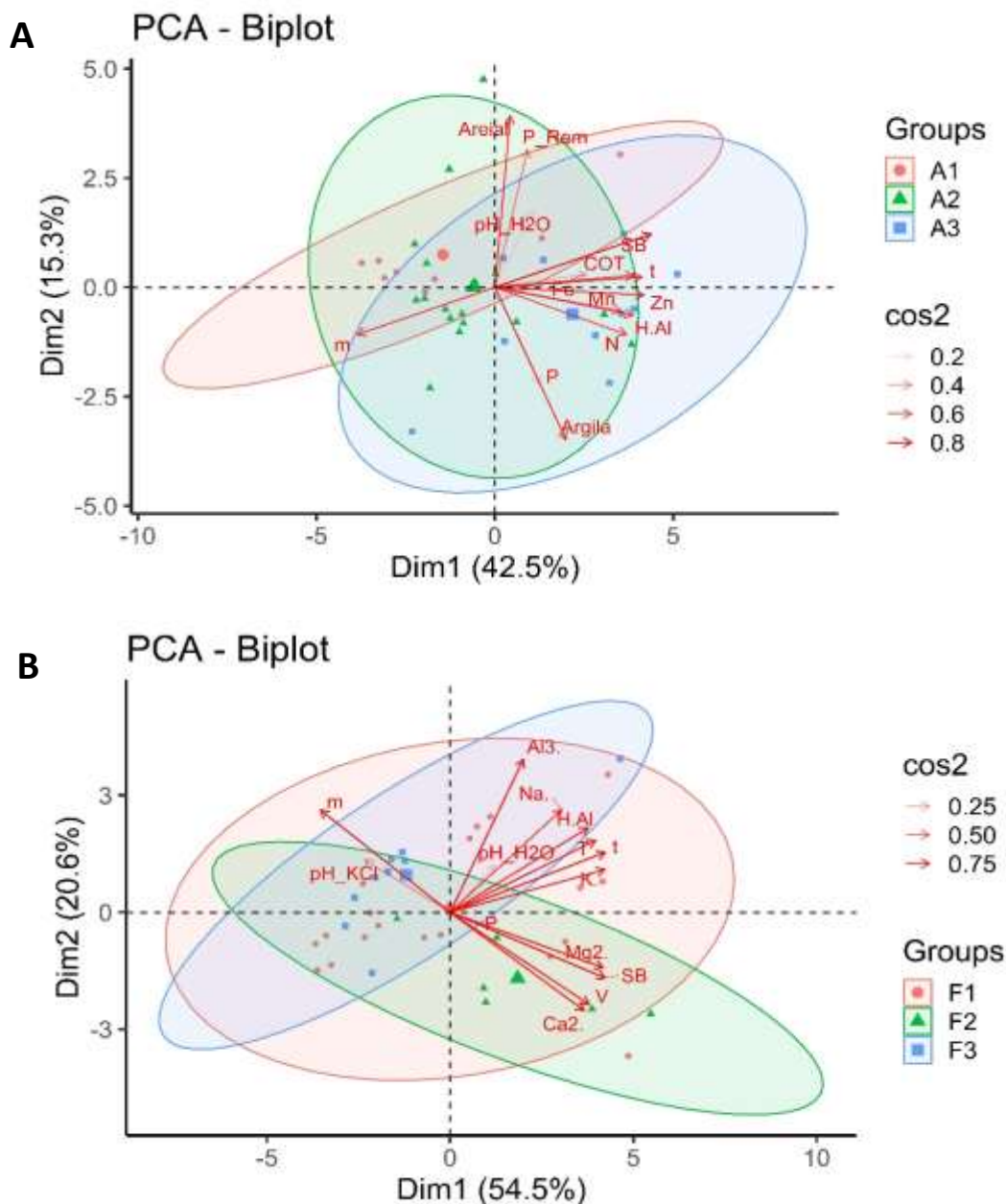


Figura 7. Análise de Componentes Principais por região (A - PCA1), A1 = S11; A2 = N1; A3 = N4; Análise de Componentes Principais por fitofisionomia (B – PCA2), F1 = Capão Florestal, F2 = Mata de Encosta e F3 = Campos Rupestres Ferruginosos. (m – Saturação por Alumínio, pH_H2O - pH em H₂O, COT - Carbono Orgânico Total, SB - Soma de Bases, t - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva, H+Al - Acidez Potencial, Al₃ – Alumínio Trocável, P - Fósforo mehlich 1, P-Rem - Fósforo Remanescente, Na – Sódio, Ca²⁺ - Cálcio, K – Potássio, Mg - Magnésio N - Nitrogênio, Fe - Ferro, Manganês - Mn, Zinco - Zn, Areia e Argila.

O primeiro eixo da PCA1 (Dim1) explicou 42.5% da variação dos atributos do solo, enquanto o segundo eixo (Dim2) explicou 15.3% da variação dos dados, totalizando 57,8%. As três localidades apresentaram solos com características semelhantes, observado pela sobreposição das elipses no gráfico. Os solos foram divididos em três grupos, A1 (S11D), com solos com alta saturação por

alumínio e arenosos com valores baixos de COT, SB, t, SB, Fe, Mn, Zn, N, P, H+Al e argila, com teores ligeiramente elevados de P-Rem. O grupo A2 (N1) mais próximo do grupo A1, por apresentar alta saturação por alumínio e ser mais arenoso, com valores baixos de COT, SB, t, SB, Fe, Mn, Zn, N, P, H+Al e argila, porém ligeiramente superiores que em A1, observado pela maior dispersão dos pontos no gráfico. O grupo A3 (N4), apresentou menor saturação por alumínio, sendo um solo mais argiloso com teores mais elevados de COT, SB, t, SB, Fe, Mn, Zn, N, P, H+Al.

A Análise de Componentes Principais para as fitofisionomias (PCA2) explicou 75,1 % da variação dos atributos do solo, com o primeiro eixo (Dim1) explicando 54.4% e o segundo eixo (Dim2) 20.6% da variação dos dados. A PCA2 agrupou os solos de acordo com as três fitofisionomias de Capão Florestal (F1), Mata de Encosta (F2) e Campos Rupestres Ferruginosos (F3). Os solos de ambientes florestados são ligeiramente mais ricos quimicamente em relação aos Campos Rupestres Ferruginosos, principalmente os da Mata de Encosta. Os Campos Rupestres Ferruginosos apresentaram alta saturação por alumínio, porém essa variável também teve influência em algumas amostras de solos dos Capões Florestais e Mata de Encosta.

Com o objetivo de analisar a variação química e física nas fitofisionomias estudadas e comparar os três Capões Florestais de cada área foram feitas as médias dos valores por parcela com seus respectivos desvios Padrões. A partir do uso do teste de Kruskal Wallis os valores médios dos atributos dos solos foram comparados indicando o nível de significância entre eles (Tab. 4 e 5, anexo). A comparação entre os valores das fitofisionomias de CAP, CRAb, CRAr e ME indicaram para o pH em H₂O, Na, T, COT, e Zn valores não significativamente diferentes nessas formações florestais. Os teores de P, K, Al, H+Al, t, Cr, Ni, Pb, Silte, e relação Silte/Argila foram superiores nas formações florestadas (CAP e ME), o teor de argila foi significativamente inferior apenas nos CRAr e os teores de cálcio foram superiores para ME em comparação à todas fitofisionomias. Os valores de Mn, diferiram significativamente entre os Campos Rupestres Ferruginosos tendo valores mais elevados nos Campos Rupestres Ferruginosos Arbustivos. Os valores de Cu foram mais elevados na Mata de

Encosta com valores baixos de Mn, corroborando em parte com o encontrado por Vasconcelos *et al* (2016), que obteve valores elevados de Cu e Mn para essa fitofisionomi. Essa variação pode ser explicada pela localização das Matas de Encosta que estão na borda dos platôs apresentando solos mais desenvolvidos e maior disponibilidade de nutrientes. Esses valores atribuídos à cada fitofissionomia corroboram com os estudos realizados por Nunes (2009), Nunes *et al* (2015), Schaefer *et al* (2016^a), Schaefer *et al* (2016b) e Vasconcelos *et al* (2016), nas fitofissionomias da Serra dos Carajás.

Os solos dos Capões Florestais das três áreas de estudo não diferiram significativamente nos teores de Al, Cr e Areia Grossa e Silte. Os teores superficiais de P, K, Ca, Mg, SB, V, COT e Mn foram todos superiores nos Capões Florestais de N4, com grande diferença para os teores de Mn e P. Os valores de P-Rem Pb e Areia Fina foram maiores em S11, enquanto os valores de pH em H₂O, Na, IsNa, e relação Silte/Argila foram superiores nos Capões Florestais de N1. Os valores de H+Al, t, T, N foram mais elevados e mais semelhantes entre os Capões de N1 e N4.

Relação Solo e Vegetação

O Diagrama de Ordenação gerado pela Corrêspodência Canônica (CCA1, Fig. 8) separou bem as três regiões em grupos distintos de acordo com sua vegetação e atributos do solo, com explicação de 12,6% (Axis 1), 11,3 % (Axis 2) e 7,9% (Axis 3), explicando 31,8 % da variância total (Tab. 6). A região de N1 e S11 apresentaram a predominância de um ambiente com alta saturação por alumínio em relação à N4, que apresentou como condicionante ambiental valores relativos mais elevados de P, K, Mg, Ca, Mn, Zn, Fe, V, SB, COT. Os valores de P-Rem foram mais expressivos em S11 em relação às demais localidades. As fitofisionomias estudadas também foram bem separadas pela Análise de Correspondência Canônica (CCA2, Fig. 9), com explicação de 10,2 % (Axis 1), 9,6 % (Axis 2) e 7,0 % (Axis 3), explicando 26,8 % da variância total (Tab. 7). A fitofisionomia dos Campos Rupestres Ferruginosos apresentou maior relação com o COT, P-Rem, SB, V, Fe e Mn, enquanto a Mata de Encosta e Capões Florestais tiveram maior relação com m, porém as espécies de Capão Florestal também tiveram influência dos valores de P Mehlich 1, Fe e Mn. Cabe citar que as fitofisionomias dos Campos Rupestres Ferruginosos Arbustivos e Campo Rupestres Abertos foram englobadas como uma única fitofisionomia.

Na comparação entre os três Capões Florestais (CCA3, Fig. 10) das áreas estudadas foi possível diferenciar os Capões Florestais das três regiões, sendo todos significativamente distintos quanto à composição florística e atributos do solo, os eixos tiveram 17,7 % (Axis 1), 13,6% (Axis 2) e 8,2 % (Tab. 8), explicando 39,5% da variância total (Fig 10). O Capão Florestal de N1 apresentou valores mais elevados de pH em H₂O e Areia fina tendo os menores valores para P Mehlich 1; o Capão Florestal de N4 apresentou maior relação com os valores de H+Al, N, t, SB, V, Mn, Zn, Fe sendo também influenciados pelos valores de P-Rem; o terceiro Capão Florestal em S11 apresentou maior relação com os valores de P-Rem e m. Apesar dos valores acumulados para os eixos da CCA2 terem sido baixos (26%), a relação entre as espécies vegetais e as variáveis ambientais não foi comprometida já que a análise produziu valores de correlação altos entre as espécies e as variáveis ambientais.

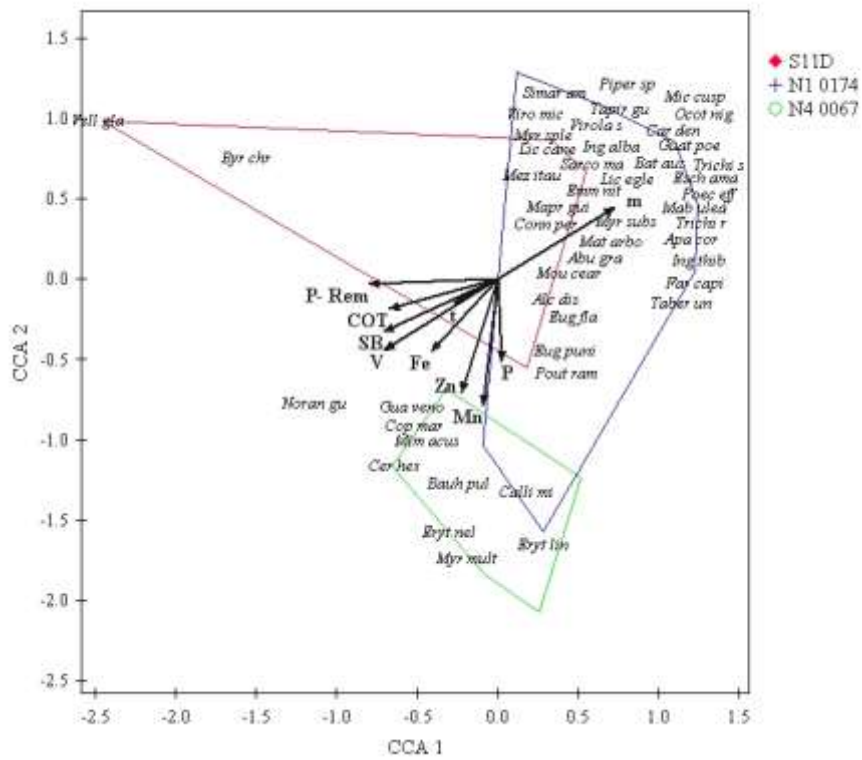


Figura 8. Análise de Correspondência Canônica (CCA1), ordenação das variáveis ambientais e abundância de espécies para cada área estudada (N1, N4 e S11).

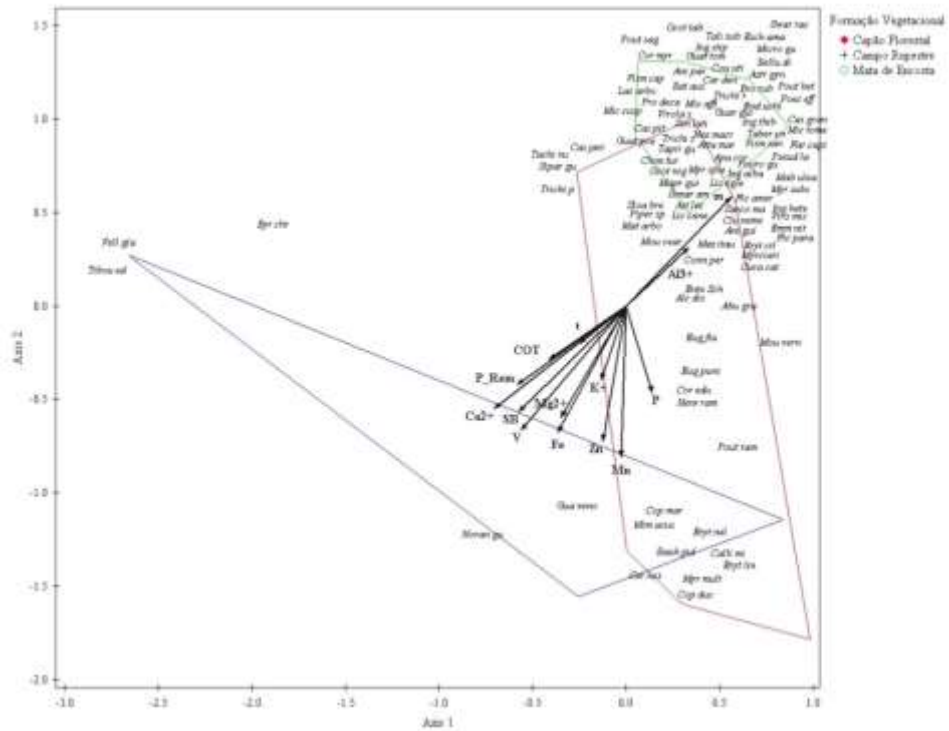


Figura 9. Análise de Correspondência Canônica (CCA2), ordenação das variáveis ambientais e abundância de espécies para cada fitofisionomia (Capão Florestal, Campos Rupestres Ferruginosos e Mata de Encosta).

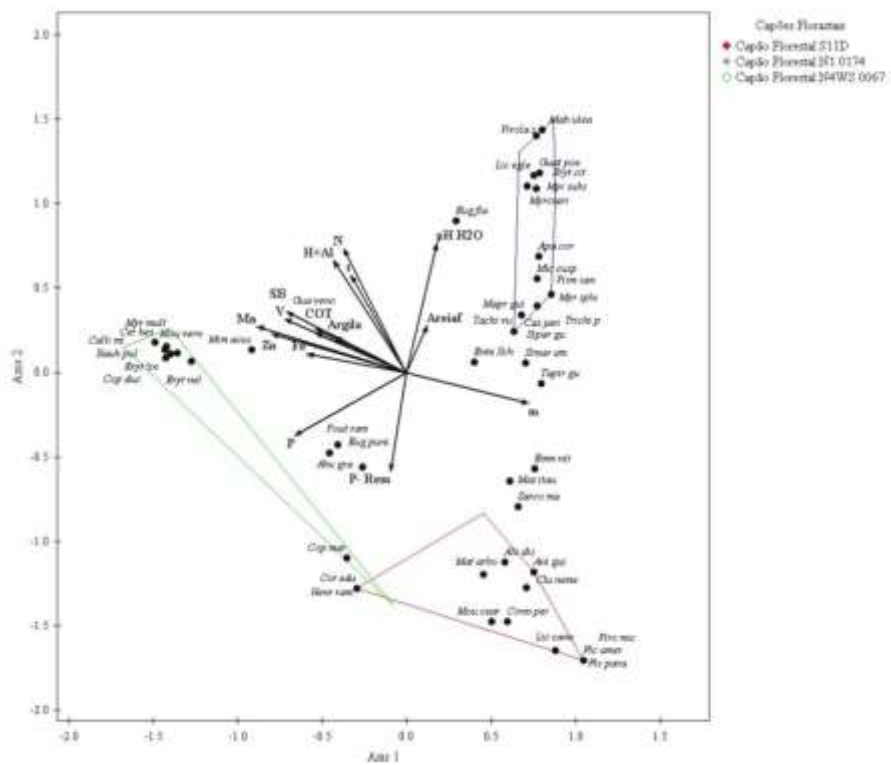


Figura 10. Análise de Correspondência Canônica (CCA3), ordenação das variáveis ambientais e abundância de espécies para cada Capão Florestal (N1, N4 e S11).

DISCUSSÃO

A partir das análises fitossociológicas realizadas foi possível compreender a variação da composição das comunidades vegetais e sua relação com as variações químicas e físicas dos solos. De forma geral, os solos estudados podem ser considerados oxídicos e altamente intemperizados, esses solos apresentaram baixa CTC efetiva, elevados teores de Al^{3+} no complexo de troca, valores elevados de Ferro e elevada acidez e distrofismo, corroborando com outros estudos de solos em Carajás (NUNES *et al*, 2015; CORRÊA *et al*, 2016; SCHAEFER, *et al*, 2015; SCHAEFER *et al*, 2016a; SCHAEFER *et al*, 2016b; VASCONSELOS *et al*, 2016). As Cavidades Naturais Subterrâneas estudadas nas três regiões da Serra dos Carajás indicaram diferenças significativas em sua composição florística em consequência da presença de distintas fitofisionomias em cada área e diversidade de atributos dos solos, sendo cada formação vegetacional distinta quanto à estrutura da sua comunidade e fatores ambientais (NUNES *et al*, 2015). Os Capões Florestais da Serra dos Carajás apresentaram uma estrutura vegetacional e de solos distintos nas três áreas estudadas indicando uma alta diversidade de espécies em uma mesma fitofisionomia, evidenciado a partir da análise do índice de Jaccard, rarefação, estrutura horizontal e CCA3.

A família de maior ocorrência em todas as áreas foi Fabaceae, família também indicada por NUNES (2009) em seu estudo como predominante. As espécies dessa família já foram reportadas como elemento florístico dominante em toda a região da Amazônia, o que reforça a influência desse domínio na região da Serra dos Carajás (SALOMÃO *et al*, 1988; ALMEIDA *et al*, 1993; SILVA *et al*, 2013). As famílias como Melastomataceae, Euphobiaceae e Rubiaceae também tiveram maior ocorrência em comparação ao estudo de Nunes (2009). Das espécies levantadas em cada fitofisionomia, algumas espécies foram identificadas como típicas de outros biomas brasileiros (*Sarcoglottis mattogrossensis*; *Myrcia Splendens*; *Matayba arborescens*; *Tapirira guianensis*), tendo ocorrência restrita aos Capões Florestais e Mata de Encosta, com exceção da *Myrcia Splendens* que ocorreu nos Capões e nos Campos Rupestres Ferruginosos Arbustivos. Do domínio da Caatinga as espécies *Mimosa*

acutistipula e *Eugenia puniceiflora* ocorreram nas áreas estudadas, tendo a primeira ocorrido nos Capões Florestais, Campos Rupestres Ferruginosos Abertos e Arbustivos e a segunda nos Capões Florestais e Campos Rupestres Ferruginosos Arbustivos. As espécies de Cerrado *Anemopaegma* sp. e *Pouteria ramiflora* também foram identificadas, ambas nos Campos Rupestres Ferruginosos Arbustivos e *Pouteria ramiflora* com ocorrência também nos Capões Florestais e Mata de Encosta. Algumas espécies típicas da Amazônia como *Virola* sp. e *Conarus perotetti* foram também identificadas nesse estudo, com ocorrência da primeira nos Capões Florestais e Mata de Encosta e da segunda apenas nos Capões Florestais. As espécies exclusivas da Serra dos Carajás como *Erythroxylum citrifolium*, *Erythroxylum ligustrinum* var. *carajasense*, *Erythroxylum nelson-rosae*, *Ipomea carajasensis*, *Ipomea marabaensis*, *Ipomea cavalcantei* também foram levantadas, com presença dos *Erythroxylums* nos Capões Florestais e Campos Rupestres Ferruginosos, e ocorrências restrita das *Ipomeas* nos Campos Rupestres Ferruginosos (Viana & Lombardi, 2007; Schaefer *et al*, 2016b).

A relação entre riqueza de espécies e unidades amostrais para as três áreas estudadas indicou uma maior riqueza nas imediações da Cavidade N1-0174, seguido de S11D e N4WS-0067. Essa maior riqueza em N1 está associada à presença da fitofisionomia de Mata de Encosta comparada com as demais fitofisionomias estudadas apresentou maior riqueza de espécies. A segunda fitofisionomia que apresentou maior riqueza foram os Capões Florestais seguidos dos Campos Rupestres Ferruginosos. Foi observado que os ambientes florestados apresentam maior diversidade em relação aos Campos Rupestres Ferruginosos, como também indicado, a partir do uso de estimadores de riqueza, por NUNES *et al* (2015) e SCHAEFER *et al* (2016b). Os ambientes florestados tem solos mais desenvolvidos pedogeneticamente, com solos mais profundos (SCHAEFER *et al*, 2016b – Capítulo 1) e com maiores teores de P Melich 1, K, e teores ligeiramente mais elevados de argila, indicando a maior retenção de água nessas fitofisionomias além do potencial de disponibilização de fósforo, nutriente restritivo à ocorrência de espécies. Apesar da alta saturação de alumínio nos solos das formações florestadas essa riqueza química dos solos pode facilitar a colonização nesse ambiente. Cabe citar que esses ambientes

florestados estão intimamente relacionados com às cavidades naturais, *hotspots* de fósforo, que além de disponibilizar nutrientes essenciais à vida também concentram bases trocáveis e micronutrientes (Capítulo 1). O microclima mais ameno gerado pelas cavidades pode também ter influência na maior retenção de umidade no solo facilitando o estabelecimento de espécies.

A comparação da riqueza nos três Capões Florestais estudados indicou a maior riqueza em Capões mais afastados na borda do Platô como no caso de S11, com riqueza similar entre N1 e N4. Uma das hipóteses para a maior riqueza em S11 é a maior retenção de água nos topos dos platôs, os valores mais baixos de pH em S11 em relação às outras áreas, associado aos teores elevados de matéria orgânica podem também diminuir a disponibilização de alumínio à partir da sua complexação, diminuindo ligeiramente a toxidez por alumínio nessas áreas, facilitando a colonização e estabelecimento de espécies (CORRÊA *et al*, 2016). Estudos da comparação entre Capões Florestais ainda são escassos na literatura, portanto os motivos da variação da composição das comunidades desses ambientes devem ser investigados com maiores detalhes.

Apesar das diferenças encontradas entre os solos estudados todos foram considerados ácidos com elevados teores de saturação por alumínio. Os teores de P Mehlich 1, K, Ca e Na foram mais elevados nos ambientes florestais do que nos ambientes de Campos, com valores superiores aos reportados por NUNES *et al* (2015), VASCONSELOS *et al* (2016), o que refletiu em valores mais elevados de t e demonstram a influência da deposição de guano de quirópteros nas Cavidades Naturais e a redistribuição dos nutrientes presentes nesse material para os solos das formações vegetais no entorno da cavidade (Capítulo 1). Em contraste com a riqueza química, os valores de saturação por alumínio foram superiores nos ambientes florestados devido ao maior desenvolvimento pedogenético desses solos, indicado por SCHAEFER (2009) como um dos principais fatores para a diferenciação dos ambientes florestados e de campos na Serra dos Carajás. Os teores de Ferro foram elevados em todas as fitofisionomias, apesar desses valores elevados a concentração de ferro solúvel não aparenta influenciar o estabelecimento de espécies já que a maior parte do ferro se encontra na forma de Fe^{3+} , ou seja, menos solúvel (NUNES *et al*, 2015).

Os estudos realizados por SCHAEFER 2009, NUNES et al, 2015, VASCONCELOS et al, 2016 e SCHAEFER et al, 2016b, indicaram valores superiores de COT para as áreas de Campos Rupestres Ferruginosos associando essa variação ao regime de fogo e à atividade de térmitas. Todavia os valores de COT para as áreas estudadas não foram significativamente diferentes (Kruskal Wallis). Os atributos físicos dos solos das fitofisionomias estudadas indicaram elevados teores de Silte e Argila em relação aos teores de Areia Grossa e Areia Fina, com teores mais elevados de Areia Grossa nos geoambientes dos Campos. Os teores mais elevados de Argila para os ambientes florestados são devido ao intenso intemperismo desses solos que refletiu em sua estrutura mais desenvolvida (Capítulo 1). Os teores de Argila também foram superiores às demais frações dos solos nos Campos Rupestres Ferruginosos, porém esse aporte de argila se deve ao processo de bioturbação por térmitas como indicado por SCHAEFER (2001).

A CCA1 separou bem as três localidades estudadas, indicando que cavidades em diferentes platôs podem estruturar comunidades vegetacionais distintas. Apesar das diferentes fitofisionomias associadas à cada localidade existem algumas espécies que são comuns às cavidades dos três platôs estudados (N1, N4 e S11). Os solos das regiões dos Platôs de N1 e S11 foram mais semelhantes entre si sendo mais pobres quimicamente em comparação com os solos de N4. A análise de correspondência Canônica para as fitofisionomias estudadas (CCA2) indicou uma clara diferenciação na composição florística das comunidades por ambiente, com composição de espécies mais próximas entre os Capões Florestais e Mata de Encosta e Campos Rupestres Ferruginosos separados.

Além da diferenciação florística por região (N1, N4 e S11), que considerou todas fitofisionomias estudadas, ainda há variações específicas na composição das espécies entre os Capões Florestais de cada área como indicado pela CCA3. Existe uma clara separação dos Capões Florestais estudados. Em N1 predominou no Capão solos relativamente menos ácidos, maior teor da fração areia fina e baixos teores de P-Mehlich, fatores estes que condicionaram a predominância das espécies como *Licania egleri* e *Myrcia*

Splendens. Em S11, predominou solos mais ácidos com valores de pH em H₂O mais baixos e maiores valores de saturação por alumínio, influenciando a presença das espécies de maior abundância na área como *Sarcoglottis mattogrossensis* e *Matayba arborescens*. A região de N4 apresentou solos mais ricos quimicamente e mais argilosos condicionando a ocorrência de espécies como *Callisthene microphylla* e *Mimosa acustitipula var ferrea*. Os Capões de N4 e S11 foram semelhantes quanto aos seus atributos químicos, principalmente quanto aos teores de P Mehlich 1, porém sua composição florística foi significativamente distinta.

A partir das análises realizadas foi possível distinguir as quatro formações vegetacionais, quanto à sua composição florística e composição físico-química dos solos. Foi possível observar que os fatores edáficos, ou pedológicos, foram cruciais para explicar os tipos de fitofisionomias associadas às Cavernas Naturais assim como explicar a distribuição das espécies quanto ao gradiente fitofissionômico.

CONCLUSÕES

Os solos de todas fitofisionomias estudadas podem ser considerados oxídicos e altamente intemperizados, esses solos apresentaram baixa CTC efetiva, elevados teores de Al^{3+} no complexo de troca, valores elevados de Ferro e elevada acidez e distrofismo, com solos ligeiramente mais ricos quimicamente em N4 em relação à N1 e S11. A composição florística das fitofisionomias florestais foram mais semelhantes entre si e distinguiram significativamente em relação aos Campos Rupestres Ferruginosos, sendo os ambientes florestados mais ricos em espécies em relação aos ambientes de campo. A localização das cavidades em distintos platôs estudados teve comunidades vegetacionais com composição distintas, indicando que diferentes platôs podem apresentar comunidades vegetacionais próprias, essa constatação foi reforçada pela diferenciação significativa na composição florística dos três Capões Florestais estudados em cada região. Portanto foi possível inferir que os fatores pedológicos são cruciais para distinguir os tipos de fitofisionomias, sua composição e estrutura associadas à Cavidades Naturais, sendo os atributos dos solos os principais responsáveis (drivers) da composição e estrutura florística das comunidades estudadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A. N. 1986. Geomorfologia da Região. IN: ALMEIDA, J. R. (Org). **CARAJÁS: desafio político, ecologia e desenvolvimento**. São Paulo: Brasiliense, Brasília: CNPq, 88-124.
- ALMEIDA, S. S., LISBOA, P.L.B. & SILVA, A.S.L. 1993. Diversidade florística de uma comunidade arbórea na Estação científica "Ferreira Penna", em Caxiuanã (Pará). **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Série Botânica** 9: 93-12.
- BARTON, H.A. 2006. **Introduction to cave microbiology: A review for the non-specialist**. **Journal of Cave and Karst Studies**, v. 68, no 2, p. 43-54.
- BRAUN-BLANQUET, J. 1979. Fitosociologia. Bases para el estudio de las comunidades vegetales. **H. Blume Ediciones**, 17.
- CORRÊA, G. R., SCHAEFER, C. E. G. R., CORRÊA, G. F., GILKES, R. J., MEDONÇA, B. A. F., NUNES, J. A., PRAKONGKEP, N. 2016. Caracterização dos solos derivados de rochas máficas na Serra dos Carajás. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Nat**, Belém, v. 11, n. 1, p. 33-47.
- CORRÊA, G. R. 2011. **Pedogênese em Platôs de Canga Ferrífera e Basaltos na Serra dos Carajás -PA**. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.
- DONATO, C. R., A. DE S. RIBEIRO, E L. DE S. SOUTO. 2014. A conservation status index, as an auxiliary tool for the management of cave environments. **International Journal of Speleology** 43:315–322.
- FERREIRA, R. L. 2004. **A medida da complexidade biológica e suas aplicações na Conservação e Manejo de sistemas subterrâneos**. 161 f. Tese (Doutorado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre) Universidade Federal de Minas Gerais.
- JOCABI, C. M., DO CARMO, F. F., VINCENT, R. C. & STEHMAN, J. R. 2007. Plant communities on ironstone outcrops: a diverse and endangered Brazilian ecosystem. **Biodivers Conserv** 16: 2185-2200.

MAGURRAN, A. E. 2004. **Measuring biological diversity**. 1nd. end. Oxford, Blackwell Science Ltd.

MINCHIN P.R 1987. An evaluation of the relative robustness nonmetric multidimensional scaling to ecological studies: of techniques for ecological ordination. **Vegetatio**, 69:89-107.1987.

NUNES, J. A., SCHAEFER, C. E. G. R., JÚNIOR, W. G. F., NERI, A. V., CORRÊA, G. R. & ENRIGHT, N. J. 2015. Soil-Vegetation relationship on a banded ironstone 'island', Carajás Plateau, Brazilian Eastern Amazonia. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**.

NUNES, J. A. 2009. **Florística, estrutura e relações Solo-Vegetação em gradiente fitofissionômico sobre canga, na Serra Sul, Flona de Carajás – Pará**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Botânica, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG. 101p.

SALOMÃO, R.P., SILVA, M.F.F. & ROSA, N.A. 1988. Inventário ecológico em floresta pluvial tropical de terra firme, Serra Norte, Carajás, Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Série Botânica** 4: 1-46.

SANDERS, H. 1968. Marine benthic diversity: a comparative study. **The American Naturalist** 102: 243-282.

SCHAEFER, C. E. G. R, CANDIDO, H. G., CORRÊA, G. R., SIMAS, F. N. B., CAMPOS, J. C. F. 2018. Ecossistemas e geoambientes de canga ferruginosa de Carajás: Paisagens Singulares em risco de extinção. IN: MARTINS, F. D., KAMINO, L. H. & RIBEIRO, K. T. 2018. **Projeto Cenários: Conservação de campos ferruginosos diante da mineração em Carajás**. Instituto Chico Mendes para a Conservação da Biodiversidade, Ministério do Meio Ambiente, Copiart – SC.

SCHAEFER, C. E. G. R., RIBEIRO, A. S. S., CORRÊA, G. R., NETO, E. L., SIMAS, F. N. B., KER, J. C. 2016a. Características químicas e mineralogia de solos perféricos da Serra Sul de Carajás. **Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi. Nat**, Belém, v. 11, n. 1, p. 57-69.

SCHAEFER, C. E. G. R.; CORRÊA, G. R.; CÂNDIDO, H. G.; ARRUDA, D. M.; NUNES, J. A.; ARAÚJO, R. W.; RODRIGUES, P. M. S.; FILHO, E. I. F.; PEREIRA, A. F. S.; BRANDÃO, P. C.; NERI, A. V. 2016b. The physical Environment of Rupestrian Grassland (Campos Rupestres Ferruginosos) in Brazil: Geological, Geomorphological and Pedological Characteristics, and interplays. In: FERNANDES, G. W. **Ecology and Conservation of Mountaintop Grasslands in Brazil**. Springer.

SCHAEFER, C. E. G. R., CÂNDIDO, H. G., CORRÊA, G. R., PEREIRA, A., NUNES, J. A., SOUSA, O. F., MARINS, A., FERNANDES FILHO, E. & KER, J. C. 2015. Solos desenvolvidos sobre canga ferruginosa no Brasil: uma revisão crítica e papel ecológico de termiteiros. **Geossistemas Ferruginosos do Brasil**. 3ª editora.

SCHAEFER, C. E. G. R.; MENDONÇA, B. A.; JUNIOR, W. G.; VALENTE, E. L.; CORRÊA, G. R. 2012. Relações solo-vegetação em alguns ambientes brasileiros: fatores edáficos e florística. In: MARTINS, S. V. **Ecologia de Florestas tropicais do Brasil**. Editora UFV. Viçosa, Minas Gerais.

SCHAEFER, C. E. G. R., SIMAS, F. N. B., MENDONÇA, B. A. F., SABOYA, A. S., FERREIRA-JÚNIOR, W. G., NUNES, J. A. & CORRÊA, G. R. 2009. Geodiversidade dos Ambientes de Canga na Região de Carajás– Pará. **Relatório técnico, Vale**.

SCHAEFER, C.E.R. 2001. Brazilian Latosols and their B horizon microstructure as long-term biotic constructs. **Australian Journal of Soil Research**, v. 39, p. 909–926.

RIZZINI, C. T. 1979. **Tratado de Fitogeografia do Brasil: Aspectos sociológicos e florísticos**. Ed. of the Humanism, Science and Technology, São Paulo State, Brazil. Vol 2.

SILVA, W. L. S., GURGEL, E. S. C., SANTOS, J. U. M., & SILVA, M. F. 2013. Inventário e distribuição geográfica de Leguminosae no arquipélago de Marajó, PA, Brasil. **Hoehnea**, v. 40 (4): 627-647.

TRENDALL, A. F. & MORRIS, R. C. **Iron formation: Facts and problems. Developments in precambrian geology, vol. 6**. Amsterdam: Elsevier Science Publisher B. V. 1983.

TER BRAAK, C. J. F., PRENTICE, I. C. 1988. A theory of gradient analysis. **Advances in Ecological Research** 18: 271-317

VASCONSELOS, J. M., SILVA JÚNIOR, M. L., RUIVO, M. L. P., SCHAEFER, C. E. G. R., RODRIGUES, P. G., SOUZA, G. T., NASCIMENTO, D. N. O., BEZERRA, K. C. A. & DIAS, Y. N. 2016. Solos metalíferos: atributos químicos nas diferentes fitofisionomias da Serra Sul, Serra dos Carajás, Pará, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, v. 11 (1): 49-55.

VIANA, P. L., LOMBARDI, J. A. 2007. Florística e caracterização dos Campos Rupestres Ferruginosos sobre canga na Serra da Calçada, Minas Gerais, Brasil. **Rodriguesia** 58:159–177.

VINCENT, R. C., JACOBI, C. M. & ANTONINI, Y. 2002. Diversidade na adversidade. **Ciênc Hoje** 31: 64-67.

ANEXOS

Tabela 1. Ocorrência das espécies em quatro fitofisionomias em Cavernas Naturais associadas aos Platôs de N1, N4WS e S11D – Floresta Nacional dos Carajás – Pará. CAP – Capão Florestal, ME – Mata de Encosta, CRAb – Campo Rupestre Aberto, CRAr – Campo Rupestre Arbustivo.

Família	Espécie	Fitofisionomia			
		CAP	ME	CRAb	CRAr
	<i>Tapirira guianensis</i>	X	X		
Anacardiaceae	<i>Astronium lecointei</i>		X		
	<i>Guatteria poeppigiana</i>	X			
Annonaceae	<i>Guatteria tomentosa</i>		X		
	<i>Couma utilis</i>		X		
	<i>Lacmellea arborescens</i>		X		
Apocynaceae	<i>Tabernaemontana undulata</i>				
	<i>Anthurium solitarium</i>			X	X
Araceae	<i>Philodendron wulfschlaegelii</i>				X
	<i>Astrocaryum gynacanthum</i>		X		
Arecaceae	<i>Attalea maripa</i>		X		
	<i>Begonia guaduensis</i>				X
Begoniaceae	<i>Begonia humilis</i>				X
	<i>Anemopaegma sp.</i>				X
	<i>Jacaranda ulei</i>				X
Bignoniaceae	<i>Pleonotoma jasminifolia</i>				X
Bromeliaceae	<i>Ananas ananassoides</i>				X
Burseraceae	<i>Protium decandrum</i>		X		
Cactaceae	<i>Cereus hexagonus</i>	X		X	X
	<i>Licania canescens</i>	X	X		X
Chrysobalanaceae	<i>Licania egleri</i>	X	X		
Cladoniaceae	<i>Cladonia sp.</i>				X
	<i>Caraipa densifolia</i>		X		
Clusiaceae	<i>Clusia nemorosa</i>	X			
Connaraceae	<i>Connarus perrottetii</i>	X			
	<i>Ipomea carajasensis</i>			X	X
	<i>Ipomea marabaensis</i>			X	
Convolvulaceae				X	

	<i>Ipomea cavalcantei</i>			
Dilleniaceae	<i>Dolicharpus dentatus</i>			X
Elaeocarpaceae	<i>Sloanea brevipes</i>		X	
Eriocaulaceae	<i>Paepalanthus sp.</i>			X
	<i>Alchornea discolor</i>	X		X
	<i>Aparisthium cordatum</i>	X	X	X
	<i>Croton agrophilus</i>		X	
	<i>Mabea uleana</i>	X	X	
	<i>Maprounea guianensis</i>	X	X	
Euphorbiaceae	<i>Sapium marginatum</i>		X	
	<i>Erythroxylum citrifolium</i>	X		
	<i>Erythroxylum ligustrinum var. carajasense</i>	X		X
	<i>Erythroxylum nelson-rosae</i>	X	X	X
Erythroxylaceae	<i>Bauhinia pulchella</i>	X	X	X
	<i>Copaifera duckei</i>	X		X
	<i>Copaifera martii</i>		X	
	<i>Dioclea apurensis</i>	X	X	
	<i>Enterolobium schomburgkii</i>		X	
	<i>Inga alba</i>		X	
	<i>Inga heterophylla</i>		X	
	<i>Inga stipularis</i>		X	
	<i>Inga thibaudiana subsp thibaudiana</i>		X	
	<i>Mimosa acutistipula var. ferrea</i>			
	<i>Poecilanthe effusa</i>	X		
	<i>Senna latifolia</i>		X	X
	<i>Swartzia racemosa</i>		X	
	<i>Tachigali vulgaris</i>		X	
Fabaceae		X		
	<i>Endopleura uchi</i>		X	
Humiriaceae	<i>Sarcoglottis mattogrossensis</i>	X	X	
	<i>Vismia cayennensis</i>		X	
Hypericaceae	<i>Vismia sandwithii</i>	X	X	

	<i>Aniba guianensis</i>	X		
	<i>Aniba parviflora</i>		X	
		X		
	<i>Mezilaurus itauba</i>		X	
	<i>Ocotea nigrescens</i>		X	
Lauraceae	<i>Ocotea tabacifolia</i>			
Lecythidaceae	<i>Eschweilera amazoniciformis</i>		X	
Lythraceae	<i>Cuphea annulata</i>			X
	<i>Banisteriopsis malifolia</i>		X	X
Malpighiaceae	<i>Byrsonima chrysophylla</i>	X	X	
Marcgraviaceae	<i>Norantea guianensis</i>		X	X
	<i>Bellucia dichotoma</i>		X	
	<i>Brasilianthus carajasensis</i>			X
	<i>Henriettea ramiflora</i>	X		
			X	
	<i>Miconia affinis</i>	X	X	
			X	
	<i>Miconia cuspidata</i>			
	<i>Miconia tomentosa</i>	X	X	
		X	X	
	<i>Mouriri cearensis</i>			X
	<i>Mouriri vernicosa</i>			
Melastomataceae	<i>Tibouchina edmundoi</i>			
	<i>Guarea guidonia</i>		X	
		X		
	<i>Trichilia pallida</i>		X	
	<i>Trichilia rubra</i>		X	
Meliaceae	<i>Trichilia schomburgkii</i>			
Menispermaceae	<i>Abuta grandifolia</i>	X	X	
Metteniusaceae	<i>Emmotum nitens</i>	X		
	<i>Brosimum rubescens</i>		X	
	<i>Ficus americana subsp. guianensis</i>	X		
		X		
	<i>Ficus paraensis</i>		X	
Moraceae	<i>Pseudolmedia laevigata</i>			
	<i>Virola sp.</i>	X	X	
		X		
Myristicaceae	<i>Virola michellii</i>			

	<i>Eugenia flavescens</i>	X		X
	<i>Eugenia puniceiflora</i>	X		X
	<i>Myrcia multiflora</i>	X		X
	<i>Myrcia splendens</i>	X		
	<i>Myrcia subsessilis</i>	X		X
Myrtaceae	<i>Myrciaria floribunda</i>			
	<i>Guapira venosa</i>	X		X
Nyctaginaceae	<i>Neea macrophylla</i>	X		
Ochnaceae	<i>Ouratea catenaeformis</i>	X		
	<i>Catasetum discolor</i>			X
	<i>Cyrtopodium andersonii</i>			X
Orchidaceae	<i>Sobralia liliastrum</i>		X	X
Piperaceae	<i>Piper sp.</i>		X	
	<i>Axonopus siccus</i>		X	
Poaceae	<i>Trachypogon spicatus</i>			
	<i>Alibertia edulis</i>		X	X
	<i>Bathysa australis</i>		X	
	<i>Borreria paraensis</i>		X	
	<i>Chimarrhis turbinata</i>	X		
	<i>Cordia edulis</i>		X	
	<i>Cordia myrciifolia</i>		X	
	<i>Faramea capillipes</i>		X	X
Rubiaceae	<i>Perama carajaensis</i>			
	<i>Casearia grandiflora</i>		X	
	<i>Casearia javitensis</i>	X	X	
Salicaceae	<i>Casearia pitumba</i>		X	
	<i>Matayba arborescens</i>	X	X	
Sapindaceae	<i>Talisia subalbans</i>		X	
	<i>Micropholis guyanensis</i>		X	
	<i>subsp. duckeana</i>			
	<i>Pouteria ramiflora</i>	X		X
	<i>Pouteria heterosepala</i>		X	
Sapotaceae	<i>Pouteria sagotiana</i>		X	
Simaroubaceae	<i>Simarouba amara</i>	X	X	
Siparunaceae	<i>Siparuna guianensis</i>	X		

Turneraceae	<i>Turnera glaziovii</i>			X
Urticaceae	<i>Pourouma guianensis</i>	X		
Velloziaceae	<i>Vellozia glauca</i>		X	
Verbenaceae	<i>Lipia origonoides</i>		X	X
Vochysiaceae	<i>Callisthene microphylla</i>	X		X

Tabela 2. Estimativa dos parâmetros fitossociológicos das espécies amostradas nas três áreas estudadas, N1-0174 (N1), N4WS-0067 (N4) e S11D (S11). Os dados foram organizados em ordem crescente da Densidade Relativa (DR). Dominância relativa (DoR), Frequência relativa (FR) e Índice de Valor de Importância (IVI).

N1-0174			
Espécie	DR	FR	IVI
<i>Licania egleri</i>	14.46029	4.123711	6.371212
<i>Aparisthium cordatum</i>	8.350305	5.670103	4.809228
<i>Bathysa australis</i> (A.St.-Hil.) K.Schum.	8.14664	3.092784	3.759781
<i>Myrcia splendens</i>	5.09165	3.092784	2.958706
<i>Mimosa acutistipula</i> var. <i>ferrea</i>	4.276986	2.061856	2.188311
<i>Callisthene microphylla</i>	4.07332	1.546392	1.882501
<i>Matayba arborescens</i>	4.07332	3.608247	6.47455
<i>Guatteria poeppigiana</i>	3.462322	2.061856	1.902266
<i>Tapirira guianensis</i>	3.258656	3.608247	2.379835
<i>Trichilia schomburgkii</i>	2.851324	4.123711	3.769624
Não identificado	2.443992	4.123711	2.480957
<i>Simarouba amara</i>	2.443992	2.061856	1.52781
<i>Myrcia subsessilis</i>	2.240326	1.546392	1.294616
<i>Caraipa densifolia</i>	2.03666	2.57732	2.491606
<i>Bauhinia pulchella</i>	1.832994	1.030928	1.147181
<i>Sarcoglottis mattogrossensis</i>	1.832994	2.061856	1.335637
<i>Poecilanthe effusa</i>	1.629328	1.546392	2.666569
<i>Virola</i> sp.	1.629328	2.061856	1.265974
<i>Inga alba</i>	1.425662	1.546392	1.069432
<i>Alchornea discolor</i>	1.01833	1.546392	0.952891
<i>Mezilaurus itauba</i>	1.01833	2.061856	1.120377
<i>Eschweilera amazoniciformis</i>	0.814664	1.546392	1.450438
<i>Mabea uleana</i>	0.814664	1.546392	0.875303
<i>Miconia cuspidata</i>	0.814664	1.030928	1.521424

<i>Chimarrhis turbinata</i>	0.610998	1.030928	0.933393
<i>Eugenia flavescens</i>	0.610998	1.030928	0.714267
<i>Faramea capillipes</i>	0.610998	0.515464	0.398705
<i>Inga thibaudiana</i> subsp <i>thibaudiana</i>	0.610998	1.030928	1.693311
<i>Licania canescens</i>	0.610998	0.515464	0.395467
<i>Maprounea guianensis</i>	0.610998	1.030928	0.620944
<i>Ocotea nigrescens</i>	0.610998	1.030928	0.604645
<i>Piper</i> sp.	0.610998	0.515464	0.6982
<i>Tabernaemontana undulata</i>	0.610998	1.030928	0.56599
<i>Trichilia rubra</i>	0.610998	1.546392	0.732945
<i>Abuta grandifolia</i>	0.407332	0.515464	1.717781
<i>Aniba parviflora</i>	0.407332	1.030928	0.519366
<i>Attalea maripa</i>	0.407332	1.030928	3.668888
<i>Brosimum rubescens</i>	0.407332	1.030928	1.724117
<i>Casearia grandiflora</i>	0.407332	0.515464	0.576012
<i>Casearia javitensis</i>	0.407332	1.030928	0.792342
<i>Cordia myrciifolia</i> (K.Schum.) Perss. & Delprete	0.407332	0.515464	0.344494
<i>Couma utilis</i>	0.407332	1.030928	0.852869
<i>Emmotum nitens</i>	0.407332	0.515464	0.403891
<i>Erythroxylum citrifolium</i>	0.407332	0.515464	0.570477
<i>Guapira venosa</i>	0.407332	1.030928	0.5748
<i>Guatteria tomentosa</i>	0.407332	0.515464	0.323085
<i>Inga heterophylla</i>	0.407332	1.030928	1.050836
<i>Miconia affinis</i>	0.407332	1.030928	3.039162
<i>Ocotea tabacifolia</i>	0.407332	1.030928	1.908279
<i>Pouteria ramiflora</i>	0.407332	1.030928	0.551073
<i>Trichilia pallida</i>	0.407332	0.515464	1.875566
<i>Vismia sandwithii</i>	0.407332	1.030928	1.343194

<i>Senna latifolia</i> (G.Mey.) H.S.Irwin & Barneby	0.203666	0.515464	0.240592
<i>Astrocaryum gynacanthum</i> Mart.	0.203666	0.515464	0.279578
<i>Astronium lecointei</i>	0.203666	0.515464	0.339047
<i>Bellucia dichotoma</i>	0.203666	0.515464	2.56873
<i>Byrsonima chrysophylla</i> Kunth	0.203666	0.515464	0.302837
<i>Casearia pitumba</i>	0.203666	0.515464	1.595939
<i>Endopleura uchi</i>	0.203666	0.515464	0.56731
<i>Enterolobium schomburgkii</i>	0.203666	0.515464	1.015016
<i>Guarea guidonia</i>	0.203666	0.515464	0.269534
<i>Inga stipularis</i>	0.203666	0.515464	0.532653
<i>Lacmellea arborescens</i>	0.203666	0.515464	0.608926
<i>Miconia tomentosa</i>	0.203666	0.515464	0.718991
<i>Micropholis guyanensis</i> subsp. <i>duckeana</i> (Baehni) T.D.Penn.	0.203666	0.515464	0.606395
<i>Mouriri cearensis</i>	0.203666	0.515464	0.256578
<i>Mouriri vernicosa</i>	0.203666	0.515464	0.257508
<i>Myrciaria floribunda</i>	0.203666	0.515464	0.357152
<i>Não identificada</i>	0.203666	0.515464	2.94455
<i>Neea macrophylla</i>	0.203666	0.515464	0.248588
<i>Ouratea catenaeformis</i>	0.203666	0.515464	0.367554
<i>Pourama guianensis</i>	0.203666	0.515464	0.2472
<i>Pourouma guianensis</i> Aubl.	0.203666	0.515464	0.315765
<i>Pouteria heterosepala</i>	0.203666	0.515464	0.409979
<i>Pouteria heterosepala</i> Pires	0.203666	0.515464	0.293438
<i>Pouteria sagotiana</i>	0.203666	0.515464	0.248588
<i>Protium decandrum</i>	0.203666	0.515464	0.2472
<i>Pseudolmedia laevigata</i>	0.203666	0.515464	0.27264
<i>Siparuna guianensis</i>	0.203666	0.515464	0.473641

<i>Sloanea brevipes</i> Benth.	0.203666	0.515464	0.447216
<i>Swartzia racemosa</i> Benth.	0.203666	0.515464	2.741144
<i>Tachigali vulgaris</i>	0.203666	0.515464	0.323164
<i>Talisia subalbans</i>	0.203666	0.515464	0.293438
<i>Vismia cayennensis</i>	0.203666	0.515464	0.309424
	100	100	100

N4WS - 0067

Espécie	DR	FR	IVI
<i>Callisthene microphylla</i>	35.09934	13.43284	31.81635
<i>Cereus hexagonus</i>	19.86755	8.955224	13.77361
<i>Mimosa acutistipula</i> var. <i>ferrea</i>	16.55629	10.44776	12.11532
<i>Pouteria ramiflora</i>	3.642384	8.955224	5.654809
<i>Bauhinia pulchella</i>	3.311258	10.44776	4.944048
<i>Copaifera martii</i>	2.317881	5.970149	3.896867
<i>Erythroxylum nelson-rosae</i>	1.986755	1.492537	1.43576
<i>Norantea guianensis</i>	1.655629	1.492537	1.329079
<i>Guapira venosa</i>	1.324503	4.477612	2.179392
<i>Matayba arborescens</i>	1.324503	2.985075	2.098264
<i>Erythroxylum ligustrinum</i> var. <i>carajasense</i>	0.993377	4.477612	1.897986
<i>Eugenia puniceiflora</i>	0.993377	2.985075	1.440026
<i>Myrcia multiflora</i>	0.993377	2.985075	1.416773
<i>Copaifera duckei</i>	0.662252	1.492537	0.87582
<i>Eugenia flavescens</i>	0.662252	2.985075	1.289664
<i>Mezilaurus itauba</i>	0.662252	1.492537	1.315022
<i>Simarouba amara</i>	0.662252	1.492537	1.676425
<i>Abuta grandifolia</i>	0.331126	1.492537	0.639182
<i>Enterolobium schomburgkii</i>	0.331126	1.492537	0.694816
<i>Mouriri cearensis</i>	0.331126	1.492537	0.634183

<i>Mouriri vernicosa</i>	0.331126	1.492537	1.734472
	100	100	100

S11D

Espécie	DR	FR	IVI
<i>Vellozia glauca</i>	39.61538	2.985075	14.86534
<i>Sarcoglottis mattogrossensis</i>	11.92308	4.477612	6.013206
<i>Matayba arborescens</i>	11.53846	8.955224	7.769244
<i>Alchornea discolor</i>	4.615385	7.462687	4.135805
<i>Connarus perrottetii</i>	4.230769	5.970149	3.686778
<i>Mezilaurus itauba</i>	3.076923	7.462687	4.097839
<i>Myrcia splendens</i>	3.076923	7.462687	4.308957
<i>Pouteria ramiflora</i>	1.923077	4.477612	4.472106
<i>Tapirira guianensis</i>	1.923077	2.985075	1.950455
<i>Emmotum nitens</i>	1.538462	4.477612	2.444484
<i>Eugenia puniceiflora</i>	1.538462	2.985075	1.767684
<i>Licania canescens</i>	1.538462	2.985075	1.635166
<i>Mimosa acutistipula var. ferrea</i>	1.538462	2.985075	6.424632
<i>Byrsonima chrysophylla Kunth</i>	1.153846	2.985075	1.639478
<i>Mouriri cearensis</i>	1.153846	2.985075	2.317656
<i>Virola michelli</i>	1.153846	1.492537	1.048424
<i>Callisthene microphylla</i>	0.769231	1.492537	1.461332
<i>Clusia nemorosa G.Mey.</i>	0.769231	2.985075	10.60561
<i>Cordia edulis</i>	0.769231	1.492537	1.12809
<i>Ficus americana subsp. guianensis</i>	0.769231	1.492537	2.377911
<i>Henriettea ramiflora</i>	0.769231	1.492537	1.419108
<i>Simarouba amara</i>	0.769231	2.985075	1.461904

<i>Tibouchina edmundoi</i>	0.769231	2.985075	1.72499
<i>Abuta grandifolia</i>	0.384615	1.492537	0.940122
<i>Aniba guianensis</i>	0.384615	1.492537	0.885556
<i>Erythroxylum nelson-rosae</i>	0.384615	1.492537	0.885556
<i>Ficus paraensis</i>	0.384615	1.492537	0.836186
<i>Maprounea guianensis</i>	0.384615	1.492537	3.541751
<i>Miconia cuspidata</i>	0.384615	1.492537	1.941148
<i>Norantea guianensis</i>	0.384615	1.492537	0.792014
	100	100	100

Tabela 3. Estimativa dos parâmetros fitossociológicos das espécies amostradas nos **Capões Florestais** das três áreas estudadas, N1-0174 (N1), N4WS-0067 (N4) e S11D (S11). Os dados foram organizados em ordem crescente da Densidade Relativa (DR). Dominância relativa (DoR), Frequência relativa (FR) e Índice de Valor de Importância (IVI).

Capão Florestal - N1-0174

Espécie	DR	FR	IVI
<i>Licania egleri</i>	33.01435	9.090909	14.03509
<i>Myrcia splendens</i>	11.96172	9.090909	7.017544
<i>Guatteria poeppigiana</i>	8.133971	6.060606	4.731526
<i>Aparisthmium cordatum</i>	6.220096	7.575758	4.598618
<i>Myrcia subsessilis</i>	5.263158	4.545455	3.269537
<i>Simarouba amara</i>	5.263158	4.545455	3.269537
<i>Sarcoglottis mattogrossensis</i>	3.349282	4.545455	2.631579
<i>Tapirira guianensis</i>	3.349282	4.545455	2.631579
<i>Mimosa acutistipula var. ferrea</i>	2.870813	3.030303	1.967039
<i>Mezilaurus itauba</i>	2.392344	6.060606	2.81765
<i>Eugenia flavescens</i>	1.435407	3.030303	1.48857
<i>Mabea uleana</i>	1.435407	3.030303	1.48857
<i>Matayba arborescens</i>	1.435407	1.515152	0.983519

<i>Miconia cuspidata</i>	1.435407	1.515152	0.983519
<i>Emmotum nitens</i>	0.956938	1.515152	0.82403
<i>Erythroxylum citrifolium</i>	0.956938	1.515152	0.82403
<i>Maprounea guianensis</i>	0.956938	1.515152	0.82403
<i>Pouteria ramiflora</i>	0.956938	3.030303	1.32908
<i>Trichilia pallida</i>	0.956938	1.515152	0.82403
<i>Virola sp.</i>	0.956938	3.030303	1.32908
<i>Alchornea discolor</i>	0.478469	1.515152	0.66454
<i>Callisthene microphylla</i>	0.478469	1.515152	0.66454
<i>Casearia javitensis</i>	0.478469	1.515152	0.66454
<i>Enterolobium schomburgkii</i>	0.478469	1.515152	0.66454
<i>Guapira venosa</i>	0.478469	1.515152	0.66454
<i>Myrciaria floribunda</i>	0.478469	1.515152	0.66454
<i>Ouratea catenaeformis</i>	0.478469	1.515152	0.66454
<i>Siparuna guianensis</i>	0.478469	1.515152	0.66454
<i>Tachigali vulgaris</i>	0.478469	1.515152	0.66454
<i>Vismia sandwithii</i>	0.478469	1.515152	0.66454
	100	100	66

Capão Florestal – N4WS-0067

Espécie	DR	FR	IVI
<i>Callisthene microphylla</i>	45.22613	13.46154	37.86054
<i>Mimosa acutistipula var. ferrea</i>	11.05528	9.615385	8.926877
<i>Cereus hexagonus</i>	8.542714	7.692308	6.599723
<i>Pouteria ramiflora</i>	4.522613	7.692308	5.796413
<i>Bauhinia pulchella</i>	4.020101	11.53846	5.580749
<i>Erythroxylum nelson-rosae</i>	3.015075	1.923077	1.992588
<i>Copaifera martii</i>	2.01005	3.846154	2.953479

<i>Matayba arborescens</i>	2.01005	3.846154	2.782939
<i>Erythroxylum ligustrinum</i> var. <i>carajasense</i>	1.507538	5.769231	2.518909
<i>Eugenia puniceiflora</i>	1.507538	3.846154	1.927545
<i>Myrcia multiflora</i>	1.507538	3.846154	1.898348
<i>Copaifera duckei</i>	1.005025	1.923077	1.17386
<i>Mezilaurus itauba</i>	1.005025	1.923077	1.725318
<i>Simarouba amara</i>	1.005025	1.923077	2.179091
<i>Abuta grandifolia</i>	0.502513	1.923077	0.847822
<i>Enterolobium schomburgkii</i>	0.502513	1.923077	0.917675
<i>Eugenia flavescens</i>	0.502513	1.923077	0.847822
<i>Guapira venosa</i>	0.502513	1.923077	0.835816
<i>Mouriri cearensis</i>	0.502513	1.923077	0.841546
<i>Mouriri vernicosa</i>	0.502513	1.923077	2.223057
	100	100	100

Capão Florestal – S11D

Espécie	DR	FR	IVI
<i>Sarcoglottis</i> <i>mattogrossensis</i>	20.66667	4.918033	11.21536
<i>Matayba arborescens</i>	20	9.836066	11.63614
<i>Alchornea discolor</i>	8	8.196721	7.940203
<i>Connarus perrottetii</i>	7.333333	6.557377	5.883992
<i>Mezilaurus itauba</i>	5.333333	8.196721	11.23996
<i>Myrcia splendens</i>	5.333333	8.196721	5.613575
<i>Pouteria ramiflora</i>	3.333333	4.918033	3.47168
<i>Tapirira guianensis</i>	3.333333	3.278689	4.166461
<i>Emmotum nitens</i>	2.666667	4.918033	9.154403
<i>Eugenia puniceiflora</i>	2.666667	3.278689	2.080385

<i>Licania canescens</i>	2.666667	3.278689	3.506517
<i>Mimosa acutistipula</i> var. <i>ferrea</i>	2.666667	3.278689	2.128076
<i>Mouriri cearensis</i>	2	3.278689	1.989169
<i>Virola michelii</i> Heckel	1.333333	1.639344	1.082827
<i>Callisthene microphylla</i>	1.333333	1.639344	1.318179
<i>Clusia nemorosa</i> G.Mey.	1.333333	3.278689	2.22524
<i>Cordia edulis</i>	1.333333	1.639344	1.021346
<i>Henriettea ramiflora</i>	1.333333	1.639344	1.570539
<i>Simarouba amara</i>	1.333333	3.278689	4.061973
<i>Abuta grandifolia</i>	0.666667	1.639344	0.819349
<i>Aniba guianensis</i>	0.666667	1.639344	0.834863
<i>Ficus americana</i> subsp. <i>guianensis</i>	0.666667	1.639344	1.055965
<i>Ficus americana</i> subsp. <i>guianensis</i>	0.666667	1.639344	0.872096
<i>Ficus paraensis</i>	0.666667	1.639344	1.001379
<i>Maprounea guianensis</i>	0.666667	1.639344	1.364405
<i>Miconia cuspidata</i>	0.666667	1.639344	0.952539
<i>Virola michelli</i>	0.666667	1.639344	0.934612
	100	100	100

Tabela 4. Variáveis químicas e físicas dos solos estudados em cada Fitofisionomia (CAP – Capão Floresta; CRAb – Campo Rupestre Aberto; CRAr – Campo Rupestre Arbustivo; ME – Mata de Encosta). Os valores representam as médias por parcela e desvio padrão. H = Teste de Kruskal Wallis. SIG = significância ($p < 0.05$); presença do “**” valores são significativamente diferentes entre sí; “***” dois valores não são significativamente diferentes; ausência de ambos, valores não são significativamente diferentes entre sí. As letras a, b e c, indicam os valores do maior para menor, respectivamente.

	CAP	CRAb	CRAr	ME	H	SIG
pH H2O	3.87 ± 0.40	2.68 ± 1.43	3.01 ± 1.58	3.77 ± 0.24	6.5441	
pH KCl	3.29 ± 0.33 b	2.12 ± 0.97 c	2.60 ± 1.18 c	3.84 ± 0.38 a	62.9522	**
P	17.35 ± 16,30 a	4.10 ± 4.40 b	5.85 ± 6.75 b	12.08 ± 16.88 a	28.9884	*
K+	124 ± 82.81 a	64.66 ± 80.02 b	77.85 ± 61.59 b	92.48 ± 50.69 b	10.0915	*
Na+	27.46 ± 15.54	16.66 ± 17.73	20.76 ± 16.34	24.36 ± 14.95	6.8816	
Ca 2+	0.53 ± 0.81 c	1.55 ± 1.55 b	0.75 ± 0.56 bc	9.81 ± 9.57 a	54.7685	*
Mg 2+	0.39 ± 0.41 bc	0.78 ± 0.83 a	0.53 ± 0.36 ab	0.21 ± 0.24 c	19.82	*
Al 3+	3.37 ± 1.38 a	1.81 ± 0.91 b	2.09 ± 1.36 b	3.48 ± 2.03 a	28.116	*
H+Al	31.26 ± 10.75 b	19.74 ± 20.08 b	21.30 ± 17.05 b	33.26 ± 13.88 a	12.7116	*
SB	1.36 ± 1.36 a	2.11 ± 2.56 a	1.36 ± 0.99 a	0.65 ± 0.52 b	24.1688	*
t	4.73 ± 1.99 a	3.47 ± 3.52 b	3.23 ± 2.33 c	4.13 ± 2.28 ab	11.8664	*
T	32.62 ± 11.47	21.40 ± 22.50	22.44 ± 18.04	33.91 ± 14.20	10.5903	
V	3.78 ± 3.19 a	4.49 ± 4.07 a	3.85 ± 3.01 a	1.86 ± 0.90 b	17.7523	*
m	74.51 ± 17.55 a	30.49 ± 28.28 b	46.70 ± 31.44 b	83.47 ± 8.06 a	58.2912	*
ISNa	0.37 ± 0.19 b	0.66 ± 0.48 b	0.53 ± 0.26 b	2.97 ± 15.28 a	12.1899	*

COT	12.12 ± 7.77	14.48 ± 12.58	9.04 ± 8.08	13.92 ± 7.77	5.5883	
N	0.74 ± 0.39 b	0.97 ± 0.32 a	0.66 ± 0.26 b	0.89 ± 0.44 ab	11.7579	*
P- rem	12.97 ± 4.38 a	16.23 ± 13.63 a	12.90 ± 10.37 a	6.38 ± 3.60 b	20.779	*
Cu	2.028 ± 1.14 b	1.391 ± 0.84 b	0.94 ± 0.39 c	5.40 ± 2.59 a	71.2024	*
Mn	96.34 ± 159.94 a	8.10 ± 14.73 b	42.83 ± 77.54 b	9.19 ± 4.57 b	9.0535	*
Fe	733.02 ± 507.07 a	552.00 ± 511.53 ab	777.55 ± 607.14 a	310.57 ± 340.43 b	15.3773	*
Zn	3.41 ± 2.88	1.90 ± 1.88	2.06 ± 1.93	1.60 ± 0.59	7.0127	
Cr	0.47 ± 0.98 a	0.08 ± 0.12 b	0.048 ± 0.07 b	0.35 ± 0.17 a	34.0533	*
Ni	1.22 ± 0.50a	0.88 ± 0.24 b	0.86 ± 0.27 b	1.00 ± 0.20 b	12.3977	*
Cd	0.28 ± 0.13 c	0.18 ± 0.08 b	0.15 ± 0.08 b	0.41 ± 0.07 a	49.3619	*
Pb	2.04 ± 0.59 b	1.67 ± 0.18 b	1.79 ± 0.22 b	2.68 ± 0.38 a	47.5406	*
A. Grossa	0.27 ± 0.08 b	0.34 ± 0.18 b	0.54 ± 0.17 a	0.30 ± 0.07 b	26.3127	*
A. Fina	0.05 ± 0.02 ab	0.071 ± 0.02 a	0.02 ± 0.02 b	0.04 ± 0.01 b	19.4792	*
Silte	0.31 ± 0.06 a	0.22 ± 0.08 bc	0.13 ± 0.07 c	0.27 ± 0.05 b	43.5844	*
Argila	0.35 ± 0.06 a	0.35 ± 0.08 a	0.29 ± 0.09 b	0.37 ± 0.07 a	4.5412	**
Silte_argila	0.91 ± 0.27 a	0.59 ± 0.14 b	0.43 ± 0.18 b	0.74 ± 0.26 a	39.8738	*

Tabela 5. Variáveis químicas e físicas dos solos estudados nos *Capões Florestais* (CA) por área S11D, N1-0174, N4WS-0067. Os valores representam as médias por parcela e desvio padrão. H = Teste de Kruskal Wallis. SIG = significância ($p < 0.05$); presença do “*” valores são significativamente diferentes entre sí; “***” dois valores não são significativamente diferentes; ausência de ambos, valores não são significativamente diferentes entre sí. As letras a, b e c, indicam os valores do maior para menor, respectivamente.

	CAP - S11	CAP - N1	CAP - N4	H	
pH H2O	3.41 ± 0.09c	4.20 ± 0.33a	3.75 ± 0.27b	24.4122	**
pH KCl	3.23 ± 0.2509 b	3.46 ± 0.4032 ab	3.17 ± 0.2192 b	9.9128	*
P	12.36 ± 7.11 b	6.77 ± 6.21 b	28.30 ± 17.91 a	22.8633	*
K+	48.25 ± 18.25 c	119.16 ± 92.99 b	155.73 ± 69.94 a	21.4795	*
Na+	14 ± 9.25 c	37.89 ± 16.32 ab	23.36 ± 14.50 bc	20.5887	*
Ca 2+	0.10 ± 0.07 c	0.20 ± 0.36 b	0.97 ± 1.02 ab	26.1605	*
Mg 2+	0.09 ± 0.02 c	0.19 ± 0.15 b	0.67 ± 0.89 a	28.9939	*
Al 3+	2.74 ± 0.62	3.99 ± 0.77	3.05 ± 1.24	7.4125	
H+Al	20.45 ± 3.80 b	31.55 ± 11.66 a	34.95 ± 9.19 a	18.4492	*
SB	0.38 ± 0.17 c	0.86 ± 0.71 bc	2.14 ± 1.60 a	24.7154	*
t	3.12 ± 0.76 b	4.86 ± 2.16 a	5.21 ± 1.92 a	9.0363	*
T	20.83 ± 3.93 b	32.42 ± 12.21 a	37.09 ± 9.69a	19.8005	*
V	1.76 ± 0.69 b	2.46 ± 1.19 b	5.66 ± 3.89 a	24.2905	*
m	88.3 ± 4.12 b	83.6 ± 5.91 b	61.66 ± 18.66 a	30.6864	*
ISNa	0.27 ± 0.17 b	0.51 ± 0.15 a	0.28 ± 0.28 b	22.3192	*
COT	4.78 ± 5.59 b	10.13 ± 8.55 b	16.50 ± 5.23 a	20.4872	*
N	0.29 ± 0.11 b	0.80 ± 0.46 a	0.86 ± 0.28 a	21.4625	*
P- rem	17.56 ± 3.20 a	10.38 ± 2.37 b	12.78 ± 5.32 b	16.106	*
Cu	1.01 ± 0.17 b	1.33 ± 0.35 b	2.99 ± 1.02 a	35.9078	*
Mn	1.76 ± 0.49 b	6.91 ± 10.07 b	207.98 ± 186.24 a	37.3532	*
Fe	450.22 ± 187.27a	483.96 ± 558.84a	1006.45 ± 403.84 b	16.8164	*

Zn	1.29 ± 1.02b	1.89 ± 1.55 b	5.50 ± 2.87 a	24.8945	*
Cr	0.28 ± 0.21	0.72 ± 1.50	0.33 ± 0.38	0.4573	
Ni	0.89 ± 0.18 b	0.99 ± 0.34 b	1.53 ± 0.54 a	19.1324	*
Cd	0.22 ± 0.07	0.27 ± 0.13	0.30 ± 0.12	2.2649	
Pb	2.66 ± 0.48 a	1.68 ± 0.60 c	2.12 ± 0.39 b	11.438	**
A. Grossa	0.27 ± 0.03	0.28 ± 0.05	0.26 ± 0.11	0.4688	
A. Fina	0.068 ± 0.01 a	0.04 ± 0.92 b	0.04 ± 0.90 b	7.6091	*
Silte	0.31 ± 0.05	0.32 ± 0.07	0.30 ± 0.06	2.0709	
Argila	0.33 ± 0.04 b	0.33 ± 0.06 b	0.38 ± 0.06 a	4.1636	**
Silte_argila	0.95 ± 0.25 ab	1.04 ± 0.36 a	0.78 ± 0.09 b	5.4305	**

Tabela 6. Resumo da Análise de Correspondência Canônica (CCA) das espécies vegetais e das variáveis de solo para as três regiões estudadas (N1, N4 e S11).

	Axis 1	Axis 2	Axis 3
Eigenvalues	0.905	0.806	0.563
Porcentagem da Variância explicada	12.6	11.3	7.9
Porcentagem da Variância acumulada	12.6	23.9	31.7
<i>Correlação das Variáveis de Solo</i>			
pH H2O	-0.028	0.115	-0.219
P	0.022	-0.514	0.117
H+Al	-0.143	-0.156	0.233
SB	-0.707	-0.327	0.076
t	-0.271	-0.151	-0.006
V	-0.710	-0.444	0.038
m	0.726	0.442	-0.158
COT	-0.675	-0.185	0.433
N	-0.172	-0.057	0.339
P-Rem	-0.807	-0.028	-0.214
Mn	-0.096	-0.784	0.014
Fe	-0.414	-0.455	-0.178
Zn	-0.226	-0.712	0.036
Areiaf	-0.231	-0.099	0.166
Argila	-0.051	-0.216	0.250

Tabela 7. Resumo da Análise de Correspondência Canônica (CCA) das espécies vegetais e das variáveis de solo para as três formações vegetacionais (Capão Florestal - CAP, Campos Rupestres Ferruginosos – CR e Mata de Encosta - ME).

	Axis 1	Axis 2	Axis 3
Eigenvalues	0.913	0.854	0.626
Porcentagem da Variância explicada	10.2	9.6	7.0
Porcentagem da Variância acumulada	10.2	19.8	26.8
<i>Correlação das Variáveis de Solo</i>			
pH H2O	-0.065	0.056	-0.120
P	0.138	-0.456	0.253
K+	-0.126	-0.389	0.193
Na2+	-0.123	-0.066	0.151
Ca2+	-0.689	-0.542	0.065
Mg	-0.338	-0.584	0.162
Al3+	0.328	0.308	-0.016
H+Al	-0.164	-0.152	0.340
SB	-0.558	-0.555	0.105
t	-0.243	-0.198	0.073
V	-0.545	-0.651	0.046
m	0.552	0.557	-0.162
COT	-0.401	-0.282	0.498
N	-0.209	-0.054	0.424
P-Rem	-0.568	-0.413	-0.415
Mn	-0.024	-0.797	0.338
Fe	-0.354	-0.666	-0.162
Zn	-0.120	-0.712	0.198
Areiaf	-0.223	-0.119	0.183
Argila	-0.023	-0.143	0.303

Tabela 8. Resumo da Análise de Correspondência Canônica (CCA) das espécies vegetais e das variáveis de solo para os três Capões Florestais de N1, N4 e S11.

	Axis 1	Axis 2	Axis 3
Eigenvalues	0.845	0.649	0.394
Porcentagem da Variância explicada	17.7	13.6	8.2
Porcentagem da Variância acumulada	17.7	31.2	39.5
<i>Correlação das Variáveis de Solo</i>			
pH H2O	0.181	0.768	0.074
P	-0.654	-0.369	0.176
H+Al	-0.429	0.667	0.181
SB	-0.705	0.362	0.226
t	-0.327	0.576	0.226
V	-0.713	0.317	0.144
m	0.720	-0.183	-0.144
COT	-0.532	0.260	0.341
N	-0.367	0.732	0.336
P-Rem	-0.091	-0.580	-0.271
Mn	-0.879	0.272	0.097
Fe	-0.587	0.112	0.191
Zn	-0.793	0.231	0.218
Areiaf	0.122	0.278	0.017
Argila	-0.535	0.234	0.220

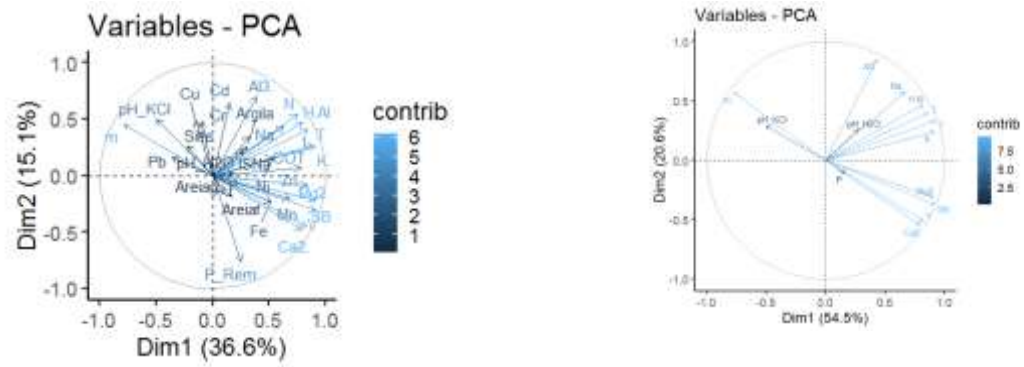


Figura 6. Variáveis de Maior significância para as três áreas estudadas (A) e para as fitofisionomias (B).

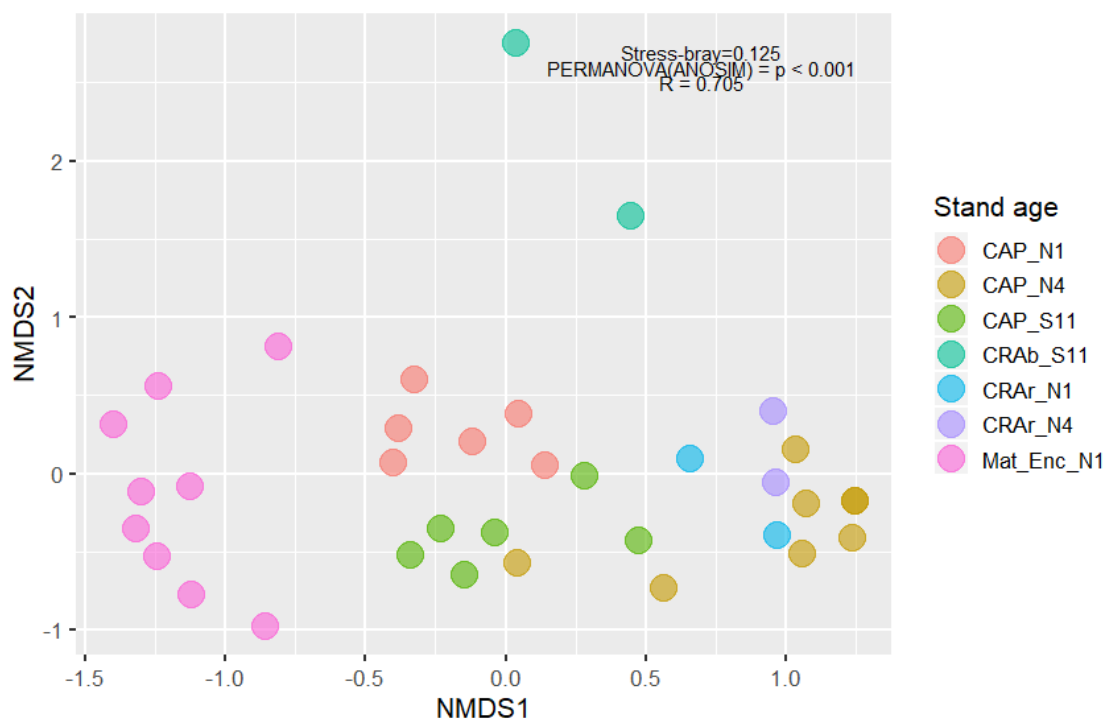


Figura 7. Non-parametric Multidimensional Scaling (NMDS), para cada fitofisionomia estudada.