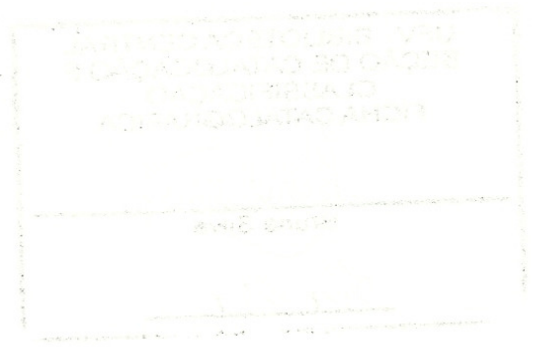


BRUNO ARAUJO FURTADO DE MENDONÇA

**CAMPINARANAS AMAZÔNICAS:  
PEDOGÊNESE E RELAÇÕES SOLO-VEGETAÇÃO**

Tese 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 *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2011



**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

M539c  
2011

Mendonça, Bruno Araujo Furtado de, 1981-  
Campinaranas amazônicas: pedogênese e relações solo-  
vegetação / Bruno Araujo Furtado de Mendonça. – Viçosa,  
MG, 2011.  
xi, 110f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Elpídio Inácio Fernandes Filho.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. Solos arenosos. 2. Amazônia. 3. Solos - Formação.  
4. Solos - Classificação. 5. Ciência do solo. 6. Vegetação.  
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

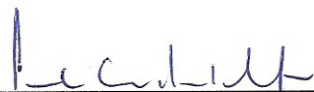
CDD 22. ed. 631.44

BRUNO ARAUJO FURTADO DE MENDONÇA

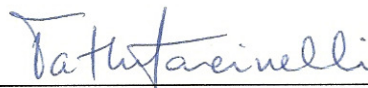
**CAMPINARANAS AMAZÔNICAS:  
PEDOGÊNESE E RELAÇÕES SOLO-VEGETAÇÃO**

Tese 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 *Doctor Scientiae*.

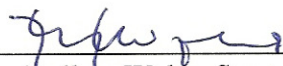
APROVADA: 25 de julho de 2011.



Prof. Carlos Ernesto G. R. Schaefer  
(Co-orientador)



Dra. Tathiane Santi Sarcinelli



Dr. Amilcar Walter Saporetti Júnior



Prof. João Carlos Ker



Prof. Elpídio Inácio Fernandes Filho  
(Orientador)

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela oportunidade de viver e estudar Sua bela obra, a Natureza.

Aos meus pais, Lúcia e Rodolfo, pelo grande amor, apoio e confiança nas minhas decisões. À minha Mãe, em especial, por toda sua ajuda e dedicação na minha formação.

À minha esposa Ana Clara, pelo grande amor e companherismo.

À Ângela, Júlia, Timoty, Flávia, Evandro, Alexandre e Melissa pelo apoio e amor fraternal.

À todos amigos e amigas da Igreja Luz do Firmamento, pela amizade e apoio em toda minha trajetória em Viçosa.

Ao Prof. Elpídio Inácio, pelo convívio, confiança e orientação no meu trabalho.

Ao Prof. Carlos Schaefer, pelas grandes oportunidades de vida, muitos ensinamentos e orientações para a realização deste trabalho.

Aos demais professores e estudantes do Departamento de Solos da UFV, pela amizade e contribuições neste trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Solos, pelo apoio nas análises e processamento dos dados.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Solos, pela oportunidade de realizar este curso e ajudar na viabilização deste projeto.

Ao Programa Áreas Protegidas da Amazônia e ao ICMBio Roraima, pelo apoio financeiro.

À toda equipe do Parque Nacional do Viruá, especialmente ao Antonio Lisboa e a Beatriz por todo apoio e confiança no projeto.

Ao CNPq pelo apoio financeiro e bolsa concedida.

E a todos que, de alguma forma, contribuíram para esta realização.

## **BIOGRAFIA**

BRUNO ARAUJO FURTADO DE MENDONÇA, filho de Lúcia Schmidt de Araujo e Rodolfo Furtado de Mendonça, nasceu em 02 de Junho de 1981, em Juiz de Fora, Minas Gerais.

Concluiu a graduação em Engenharia Florestal em Janeiro de 2005 na Universidade Federal de Viçosa (UFV), Minas Gerais.

Cursou um semestre como Estudante Especial em 2005 no Departamento de Engenharia Florestal, na UFV.

Concluiu, em Julho de 2007, o curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas do Departamento de Solos, na UFV.

Em Agosto de 2007, ingressou no programa de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas do Departamento de Solos, na UFV.

## SUMÁRIO

	Páginas
RESUMO .....	vii
ABSTRACT .....	ix
INTRODUÇÃO GERAL .....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	2

### CAPÍTULO I OS SOLOS DAS CAMPINARANAS NA AMAZÔNIA BRASILEIRA: *ecossistemas arenícolas oligotróficos*

RESUMO .....	4
INTRODUÇÃO .....	5
MATERIAL E MÉTODOS .....	6
Área de estudo .....	6
<i>Fitofisionomias das Campinaranas Amazônicas</i> .....	7
Banco de Dados .....	8
<i>Base de dados geográficos</i> .....	8
<i>Base de dados analíticos dos perfis de solo</i> .....	10
RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	11
Aspectos climáticos .....	11
Geologia das Campinaranas: distribuição e caracterização .....	12
Distribuição dos solos: integração Solos X Campinaranas .....	15
Características analíticas dos principais solos das Campinaranas e áreas ecotonais .....	15
<i>Os Solos das Campinaranas</i> .....	17
<i>Os Solos das Áreas Ecotonais do Contato Campinarana/Florestas</i> .....	18
CONCLUSÕES .....	20
AGRADECIMENTO .....	20
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	20

### CAPÍTULO II SOLOS E GEOAMBIENTES DO PARQUE NACIONAL DO VIRUÁ E ENTORNO, RORAIMA: *visão integrada da paisagem e serviço ambiental*

RESUMO .....	24
INTRODUÇÃO .....	25
MATERIAL E MÉTODOS .....	26
Área de estudo .....	26
Coleta, preparo e análises das amostras de solo .....	28
<i>Análises químicas</i> .....	28
<i>Análises físicas</i> .....	29
Unidades geoambientais .....	29
Estoque de Carbono no solo .....	29
RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	30
Distribuição e Caracterização dos Solos do PARNA Viruá .....	30
Solos arenosos das Campinaranas .....	31
<i>Espodosolos Humilúvicos</i> .....	31
<i>Neossolos Quartzarênicos</i> .....	33

Solos associados aos inselbergs e adjacências .....	34
Solos Aluviais .....	36
Unidades Geoambientais e Estoque de Carbono no Solo .....	37
CONCLUSÕES .....	41
AGRADECIMENTO .....	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	42

**CAPÍTULO III**  
**PODZOLIZAÇÃO DOS SOLOS E IMPLICAÇÕES PALEOAMBIENTAIS EM**  
**CAMPINARANAS DO PARQUE NACIONAL DO VIRUÁ, RORAIMA:**  
*dinâmicas do carbono orgânico, ferro e alumínio*

RESUMO .....	46
INTRODUÇÃO .....	47
MATERIAL E MÉTODOS .....	48
<i>Área de estudo e amostragem de solos</i> .....	48
<i>Preparo e análise dos solos</i> .....	49
<i>Análises químicas</i> .....	50
<i>Análises físicas</i> .....	50
Análise Química e Mineralógica .....	50
Substâncias húmicas e Carbono Orgânico Total .....	52
Determinação da razão isotópica $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ( $\delta^{13}\text{C}$ ) .....	52
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	53
Classificação dos solos, características morfológicas, químicas e físicas .....	53
Carbono Orgânico Total e Substâncias Húmicas .....	56
Análise isotópica ( $\delta^{13}\text{C}$ ) da matéria orgânica dos solos .....	59
Química e Mineralogia dos solos .....	60
CONCLUSÕES .....	65
AGRADECIMENTO .....	66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	66

**CAPÍTULO IV**  
**RELAÇÕES SOLO-VEGETAÇÃO E FITOSSOCIOLOGIA EM GRADIENTE**  
**FITOFISIONÔMICO FLORESTA-CAMPINARANA NO PARQUE NACIONAL**  
**DO VIRUÁ, RORAIMA**

RESUMO .....	73
INTRODUÇÃO .....	74
MATERIAL E MÉTODOS .....	75
Área de estudo .....	75
<i>Caracterização da Vegetação</i> .....	76
Coleta e análises do Solos e Serrapilheira .....	77
<i>Análises químicas</i> .....	79
<i>Análises físicas</i> .....	80
Análises estatísticas .....	80
Florística e Fitossociologia .....	81
RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	82
Relações Solo-Vegetação .....	82
<i>Caracterização química e física dos solos</i> .....	82
<i>Caracterização química da serrapilheira</i> .....	84
<i>Variáveis ambientais e distribuição das espécies</i> .....	85

<i>Análise de Correspondência Canônica (CCA)</i> .....	85
Florística e Fitossociologia .....	88
<i>Floresta Ombrófila Aberta</i> .....	92
<i>Campinarana Florestada</i> .....	95
<i>Campinarana Arborizada</i> .....	97
<i>Análise de Similaridade</i> .....	100
CONCLUSÕES .....	101
AGRADECIMENTO .....	102
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	102
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	109

## RESUMO

MENDONÇA, Bruno Araujo Furtado de, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2011. **Campinaranas amazônicas: pedogênese e relações solo-vegetação.** Orientador: Elpídio Inácio Fernandes Filho. Co-orientadores: Carlos Ernesto G. R. Schaefer e Felipe Nogueira Bello Simas.

As Campinaranas, também conhecidas como Campinas ou Caatingas Amazônicas, constituem uma paisagem de exceção envolvida pela Floresta Tropical Amazônica, sendo suas variações fitofisionômicas locais determinadas por condições edáficas peculiares. Este trabalho teve como objetivo estudar aspectos pedológicos e as relações solo-vegetação das Campinaranas Amazônicas. Neste sentido, são discutidos aspectos gerais dos solos das Campinaranas na Amazônia brasileira, com ênfase na distribuição e nas relações das unidades pedológicas e geológicas da porção ocidental da Amazônia brasileira. Como um estudo de caso foram caracterizados e mapeados os solos e as unidades geoambientais do Parque Nacional (PARNA) do Viruá e entorno, em Roraima, e determinadas estimativas do estoque de carbono nos solos. Além disso, foram estudados aspectos da gênese dos solos sob a vegetação de Campinaranas no PARNA do Viruá distribuídos no gradiente fitofisionômico típico (Campinaranas Florestadas, Arborizada e Gramíneo-Lenhosa). Por fim, foram discutidas as relações solo-vegetação e a fitossociologia em um gradiente fitofisionômico Floresta-Campinarana no PARNA do Viruá. Verificou-se uma grande associação entre a distribuição dos solos e as Campinaranas, a qual constitui um verdadeiro ecossistema arenícola de grande extensão na Amazônia brasileira. Mesmo em rochas de diferentes formações geológicas (granitos, gnaisses, arenitos) e com processos pedogenéticos distintos, os solos possuem características morfológicas, químicas e físicas muito semelhantes. Os solos estudados no PARNA do Viruá apresentam baixa fertilidade e variações texturais, determinadas pela natureza dos materiais de origem. Os complexos arenosos das Campinaranas e associações representam os geoambientes mais relevantes na prestação do serviço ambiental de conservação do carbono nos solos do PARNA do Viruá. Os solos das Campinaranas possuem notáveis evidências de processos de podzolização e mudanças nítidas das propriedades em curtas distâncias. Tais características corroboram com o oligotrofismo típico destes ambientes, onde a vegetação apresenta-se aberta e com porte reduzido. Os Espodossolos estudados possuem horizontes espódicos com predomínio de formas metálicas de baixa

crystalinidade ligadas ao Al, em solos com teores diferenciados de matéria orgânica, porém todos com o caráter humilúvico. As fitofisionomias das Campinaranas e a Floresta Ombrófila Aberta apresentam características estruturais bem marcantes, como diferenças contrastantes na biomassa e na densidade de espécies. Na Análise de Correspondência Canônica (CCA) foi observada clara distinção significativa entre as fitofisionomias estudadas, sendo as variáveis ambientais de soma de bases, argila e areia fina as mais determinantes na distinção Campinarana-Floresta. Para a separação das variações fitofisionômicas das Campinaranas, tem-se como variável principal o teor de fósforo.

## ABSTRACT

MENDONÇA, Bruno Araujo Furtado de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2011. **Amazonian Campinaranas: pedogenesis and soil-vegetation relationships.** Adviser: Elpídio Inácio Fernandes Filho. Co-advisers: Carlos Ernesto G. R. Schaefer and Felipe Nogueira Bello Simas.

The “Campinarana”, also called “Campina” or “Caatinga Amazônicas”, is an ecosystem of exception, involved by the Amazonian Tropical Forest, in which soil edaphic conditions determines the distribution of phytophysognomies. The objective of the present work is to study pedological aspects and soil-vegetation relationship of the “Campinaranas” ecosystem. General aspects of the Campinaranas soils are discussed, with emphasis on the relationship between geographic distribution and different parent materials of the western Brazilian Amazon. We characterized and mapped soils and geoenvironmental units of the Viruá National Park and surroundings, and estimated soil carbon stocks. Soil genesis was studied in detail along a typical vegetation gradient within the Campinarana (Forested, Arboreous and woody-grasslands physiognomies). A close association was observed between soil distribution and the occurrence of Campinaranas. Soils formed from different rocks (granites, gnaisses, sandstones) and from distinct pedogenic processes, have similar morphological, chemical and physical characteristics in areas with Campinaranas, being coarse textured and with low natural fertility. The soils studied in PARNA of Viruá have low natural fertility and varying texture, determined by the nature of the parental rocks. The Campinaranas sandy soil complexes and associations represent the most important geoenvironments for the conservation of organic carbon in the soils of PARNA of Viruá. The soils of Campinaranas have evidences of podzolization processes and abrupt changes of properties in short distances. Such characteristics corroborate with the typical oligothrophy of these environments, where the vegetation is open and of lower stature than the surrounding forest. The studied Spodosols have espodic horizons with poorly crystalline phases linked to Al, in soils with humilluvic character. The phytophysognomies of Campinaranas and open Ombrophilous Forest present very distinct structural characteristics, as well as contrasting differences in the biomass and in the density of species. The Canonical Correspondence Analysis (CCA) revealed significant differences between the studied phytophysognomies. The bases sum and soil texture (clay and fine sand content) are the parameters which are most determinant

in the distinction of Campinarana and Forests. The separation of the different Campinarana physiognomies was best explained by phosphorous availability.

## INTRODUÇÃO GERAL

As Campinaranas, também conhecidas como Campinas ou Caatingas Amazônicas, constituem uma paisagem de exceção envolvida pela Floresta Tropical Amazônica, sendo suas variações fitofisionômicas locais determinadas basicamente por condições edáficas particulares. São formações vegetais que ocorrem nas áreas de clima quente e úmido e solos arenosos hidromórficos ou não da Amazônia. Esta fitofisionomia ocupa uma área de aproximadamente 180.000 km<sup>2</sup> no território brasileiro (IBGE, 2000). A literatura sobre as Campinaranas Amazônicas é escassa, com muitas discussões e controvérsias quanto à origem desta vegetação (DUCKE e BLACK, 1954; ANDERSON et al. 1975; ANDERSON, 1978; PRANCE e SCHUBART, 1978; ANDERSON, 1981; FERREIRA, 1997). Estas formações são fortemente influenciadas pelos ciclos sazonais e pelas variações nos níveis do lençol freático, em gradações fitofisionômicas associadas a diferentes níveis de hidromorfismo (GRIBEL et al., 2009; SCHAEFER et al., 2009).

Os solos predominantes nas Campinaranas são desenvolvidos de material de origem retrabalhado, constituídos por sedimentos fluvio-lacustres de idade Plio-Pleistocênica (CPRM, 2000; IBGE, 2000). A região de estudo compreende um extenso domínio de Espodosolos e Neossolos Quartzarênicos, muitas vezes hidromórficos, em um relevo plano a suave ondulado (BRASIL, 1975a; 1975b; 1976; 1977a; 1977b; 1978). Mesmo com ampla distribuição espacial, as dificuldades de acesso, a grande profundidade dos horizontes arenosos, a presença frequente do lençol freático elevado e os horizontes cimentados são aspectos que contribuem para a falta de estudos da gênese destes solos, bem como de suas funções ecológicas (DUBROEUCQ e BLANCANEAUX, 1987; DUBROEUQ e VOLKOFF, 1998). Além disso, as condições climáticas atuais de elevada precipitação pluvial, com chuvas torrenciais, compreendidas entre as isoietas de 1.800 a 3.000 mm anuais (INMET, 2008), dificultam a logística destes estudos.

Tendo em vista a carência de estudos, este trabalho teve como objetivo gerais estudar aspectos pedológicos e das relações solo-vegetação das Campinaranas Amazônicas. A presente tese é composta de quatro capítulos no formato de artigos científicos. No primeiro capítulo são discutidos aspectos gerais dos solos das Campinaranas na Amazônia brasileira, com ênfase na distribuição dos solos e nas

relações das unidades pedológicas e geológicas da porção ocidental da Amazônia brasileira. Neste capítulo, foram utilizados dados analíticos dos perfis de solos coletados pelo Projeto RADAMBRASIL, atualizados e sistematizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (IBGE, 2000), somados a perfis de referência coletados no Parque Nacional do Viruá (PARNA), Roraima.

No segundo capítulo, como um estudo de caso, são detalhados os aspectos pedológicos e geoambientais do PARNA do Viruá e entorno, em uma visão integrada da paisagem e com estimativas do estoque de carbono nos solos e geoambientes. O PARNA do Viruá, localizado na região do baixo Rio Branco em Roraima, possui cerca de 136.000 ha cobertos pelo ecossistema de Campinaranas e representa uma das mais extensas Unidades de Conservação (UC) de Proteção Integral com ocorrência desta tipologia vegetal no Brasil. No terceiro capítulo são caracterizados aspectos da gênese de solos sob a vegetação de Campinaranas no PARNA do Viruá (Roraima) distribuídos no gradiente fitofisionômico típico (Campinaranas Florestadas, Arborizada e Gramineo-Lenhosa), e são discutidas implicações paleoambientais baseadas na análise isotópica ( $\delta^{13}\text{C}$ ) da fração ácido húmico da matéria orgânica do solo. No quarto capítulo, foi realizado estudo fitossociológico e determinadas as relações solo-vegetação em um gradiente fitofisionômico Floresta Ombrófila-Campinarana no PARNA do Viruá.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, A. B.; PRANCE, G.T.; ALBUQUERQUE, B.W.P. Estudos sobre as vegetações de Campinas Amazônica III: A vegetação lenhosa da Campina da Reserva Biológica INPA – SUFRAMA (Manaus-Caracaráí, km 62). *Acta Amazonica*, 5(3):225-246, 1975.

ANDERSON, A. B. **Aspectos florísticos e fitogeográficos de Campinas e Campinaranas, na Amazônia Central, Manaus.** 1978. (Dissertação de Mestrado em Ciências Biológicas) INPA-FUA, Manaus.

ANDERSON, A. B. White-sand Vegetation of Brazilian Amazonia. *Biotropica*, 13(3):199-210, 1981.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. **Folha NA. 20 Boa Vista e parte das Folhas NA -21 Tumucumaque, NB – 20 Roraima e NB – 21**, Rio de Janeiro, v.8, 428 p. 1975a. (Levantamento dos Recursos Naturais, 8).

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. **Folha NA. 21 Tumucumaque e parte da Folha NB. 21**; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra, Rio de Janeiro, 370 p. 1975b (Levantamento dos Recursos Naturais, 9).

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. **Folha NA. 19 Pico da Neblina**; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 380 p. 1976 (Levantamento dos Recursos Naturais, 11).

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. **Folhas SB/SC. 18 Javari/Contamana**; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra, Rio de Janeiro, 420 p. 1977a (Levantamento de Recursos Naturais, 13).

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SA. 19 Içá**; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 452 p. 1977b (Levantamento dos Recursos Naturais, 14).

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SA. 20 Manaus**; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 628 p. 1978 (Levantamento dos Recursos Naturais, 18)

CPRM, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. **Projeto de Mapeamento Geológico / Metalogenético Sistemático** Caracará: Folhas NA.20-Z-B e NA.20-Z-D inteiras e parte das folhas NA.20-Z-A, NA.20-Z-C, NA.21-Y-C e NA.21-Y-A. Brasília, 2000.

DUBROEUCQ, D., BLANCANEAUX, P. Les podzols du haut rio Negro, region de Marao, Venezuela. **Environnement et relations lithologiques**. In: RIGHI, D., CHAUVEL, A., eds. Podzols et podzolisation. Paris, INRA, 1987. p.37-52.

DUBROEUCQ, D., VOLKOFF, B. From Oxisols to Spodosols and Histosols: evolution of the soil mantles in the rio Negro basin (Amazonia). **Catena**, 32:245-280, 1998.

DUCKE, A.; BLACK, G.A. Notas sobre a fitogeografia da Amazônia brasileira. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo do Norte**, Belém. 29:1-62, 1954.

FERREIRA, C. A. C. **Variação Florística e Fisionômica da Vegetação de Transição Campina, Campinara e Floresta de Terra Firme**. 1997. (Dissertação de Mestrado em Ciências Biológica) UFRPE, 112p.

GRIBEL, R.; FERREIRA, C.A.C.; COELHO, L. de S.; SANTOS, J.L. dos; RAMOS, J.F.; SILVA, K.A.F.da. Vegetação do Parque Nacional do Viruá – RR. **Relatório Técnico/ICMBio**. 2009. 58p.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Geociências. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Projeto Sistematização das Informações Sobre Recursos Naturais**. 2000.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/html/clima.php>> Acesso em: 20 de maio de 2008.

PRANCE, G.T.; SCHUBART, H.O.R. Nota preliminar sobre a origem das campinas abertas de areia branca do rio Negro. **Acta Amazonica**. 3(4):567-550, 1978.

SCHAEFER, C.E.G.R.; MENDONÇA, B.A.F.de; FERNANDES FILHO, E.I. Geoambientes e Paisagens do Parque Nacional do Viruá – Roraima: esboço de integração da geomorfologia, climatologia, solos, hidrologia e ecologia. **Relatório Técnico/ICMBio**. 2009. 51p

## CAPÍTULO I

### OS SOLOS DAS CAMPINARANAS NA AMAZÔNIA BRASILEIRA: *ecossistemas arenícolas oligotróficos*

#### THE SOILS OF “CAMPINARANAS” IN BRAZILIAN AMAZON: *oligothrophic sandy ecosystems*

#### RESUMO

Este trabalho teve como objetivos estudar a distribuição das Campinaranas e suas relações com os solos predominantes e sua geologia na porção ocidental da Amazônia brasileira. Foram utilizados dados analíticos de perfis de solos coletados pelo Projeto RADAMBRASIL, atualizados e sistematizados pelo IBGE e de perfis de referência coletados no Parque Nacional do Viruá, Roraima. De modo geral, os solos das Campinaranas são predominantemente arenosos, desenvolvidos sobre materiais de origem de natureza arenoquartzosa. Do cruzamento dos dados geológicos com áreas dominadas por Campinaranas, tem-se um predomínio das formações sedimentares recentes (Quaternário). A partir da análise dos dados, sugere-se um limite mínimo de 55 dag kg<sup>-1</sup> de areia nos solos para a ocorrência das Campinaranas. Os solos mais argilosos são reportados apenas para as áreas ecotonais Florestas-Campinaranas. Verifica-se predomínio dos Espodossolos e Neossolos Quartzarênicos nas Campinaranas. Mesmo em diferentes formações geológicas e com processos pedogenéticos distintos, estes solos possuem características morfológicas, químicas e físicas muito semelhantes. Apesar da diversidade pedológica das áreas ecotonais, os solos encontrados guardam semelhanças com os solos das Campinaranas. As Campinaranas são ecossistemas arenícolas de grande extensão na Amazônia brasileira, determinantes para os extensos sistemas de rios de águas pretas.

#### ABSTRACT

The objective of the present work was to study the distribution of Campinaranas and their relationship with the predominant soils and geology in the western portion of the Brazilian Amazonian. We used analytical data of the soil profiles collected by the RADAMBRASIL project, updated and systematized by IBGE, and data from reference profiles collected in the National Park of Viruá, Roraima. In general, the soils of Campinaranas are predominantly sandy, developed on parent materials rich in quartz. The overlaying of geological data with areas dominated by Campinaranas, reveal the prevalence of recent sedimentary formations (Quaternary). Based on the studied dataset, we suggest a minimum limit of 55 dag kg<sup>-1</sup> of sand in the soils for the occurrence of Campinaranas. Soils with higher clay content are present only in Forest-Campinaranas transitions. It is verified prevalence of Espodossolos and Neossolos Quartzarênicos in Campinaranas. Even in different geological formations and with distinct pedogenetic processes, these soils possess similar morphological, chemical and physical properties. In spite of the pedological diversity found in the transitional areas, the soils keep similarities with the soils of Campinaranas. Campinaranas are sandy ecosystems of great extension in the Brazilian Amazon, and are determinant for the great systems of rivers with black waters.

**Palavras chave:** Campinaranas, Espodossolos, Amazônia brasileira e Ecossistemas arenícolas.

**Keywords:** Campinaranas, Spodosols, Brazilian Amazon and Psammophylous Ecosystems.

## INTRODUÇÃO

As Campinaranas, também conhecidas como Campinas ou Caatingas Amazônicas (ANDERSON, 1981), são formações vegetais que ocorrem nas áreas de clima úmido e solos arenosos predominantemente hidromórficos da Amazônia. Caracterizam-se por uma paisagem marcante, de exceção à Floresta Tropical envolvente. Suas fitofisionomias são fortemente influenciadas pelos ciclos sazonais e pelas variações nos níveis do lençol freático, em gradações fitofisionômicas associadas a diferentes níveis de hidromorfismo. Conforme aumenta o encharcamento dos solos, as Campinaranas Florestadas são substituídas por formações de Campinarana Arborizada, passando pelas Gramíneo-Lenhosas até puramente herbáceas, com feição de campos hidrófilos (GRIBEL et al., 2009; SCHAEFER et al., 2009).

A literatura sobre as Campinaranas Amazônicas é escassa, com muitas discussões e controvérsias quanto à origem desta vegetação (DUCKE e BLACK, 1954; ANDERSON et al. 1975; ANDERSON, 1978; PRANCE e SCHUBART, 1978; ANDERSON, 1981; FERREIRA, 1997). Estão distribuídas desde o alto Rio Negro, além do norte-noroeste do Brasil até a região de Vaupés e Caquetá na Colômbia, ao sul da Venezuela, em grandes áreas no alto Tapajós, perto da margem direita do Rio Madeira, e ainda, em pequenas manchas, como enclaves de vegetação, no sudoeste da Amazônia (IBGE, 1992; DUIVENVOORDEN, 1996; OLIVEIRA e DALY, 2001; ALONSO, 2002; SILVEIRA, 2003; POLETO e ALEIXO, 2005). No território brasileiro, sua maior concentração está na região centro-sul do Estado de Roraima, e especialmente, no noroeste do Amazonas, na bacia do Rio Negro, onde a relação entre a fitomassa e a taxa anual de precipitação pluvial (maior que 2400 mm/ano) diminui no sentido E-W (SCHAEFER et al., 2007). Tais características estão relacionadas diretamente com os processos de podzolização e arenização dos solos que, por sua vez, são associados à elevada lixiviação e consequente empobrecimento químico destes solos.

Os solos predominantes das Campinaranas são desenvolvidos de material de origem retrabalhado, constituídos por sedimentos fluvio-lacustres de idade Plio-Pleistocênica (CPRM, 2000; IBGE, 2000). Estas unidades correspondem, em sua maioria, a mantos arenosos profundos, formados por pedogênese *in situ* de sedimentos Cenozóicos ou rochas ígneas e metamórficas, como demonstram os estudos no Estado do Amazonas (ALTEMULLER e KLINGE, 1964; BRAVARD e RIGHI, 1990; ANDRADE et al. 1997; LUCAS et al., 1984). Compreende um extenso domínio de

Espodosolos e Neossolos Quartzarênicos, muitas vezes hidromórficos, em um relevo plano a suave ondulado. São solos de textura arenosa a franco-arenosa, de natureza quartzosa, com muita areia fina, profundos e, algumas vezes, ricos em material orgânico em subsuperfície; são quimicamente muito pobres, distróficos e ácidos (BRASIL, 1975a).

Mesmo com ampla distribuição espacial, as dificuldades de acesso, a grande profundidade dos horizontes arenosos, a presença frequente do lençol freático elevado e os horizontes cimentados são aspectos que contribuem para a carência de estudos da gênese destes solos, bem como de suas funções ecológicas (DUBROEUCQ e BLANCANEAUX, 1987; DUBROEUQ e VOLKOFF, 1998). Além disso, as condições climáticas atuais de elevada precipitação pluvial, com chuvas torrenciais, compreendidas entre as isoietas de 1.800 a 3.000 mm anuais (INMET, 2008), dificultam ainda mais a logística destes estudos. No entanto, na década de 70, o Governo Federal, com o Programa de Integração Nacional, realizou um dos principais levantamentos e mapeamentos pedológicos para esta região considerados como referência para os dias atuais, o Projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1975a; 1975b; 1976; 1977a; 1977b; 1978).

O presente trabalho teve como objetivo estudar os solos das Campinaranas e as relações com o clima e a geologia na porção ocidental da Amazônia brasileira, assim como compor um banco de dados de perfis de solos coletados nestes ambientes e avaliar as características químicas e físicas dos principais solos.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Área de estudo**

A área estudada compreende toda a porção da Amazônia brasileira com ocorrência da vegetação de Campinaranas e áreas ecotonais (Figura 1), mapeadas pelo Projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1975a; 1975b; 1976; 1977a; 1977b; 1978) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2000).

A região é de clima equatorial, com chuvas fortes e torrenciais, delimitadas por um período seco de pequena duração. A precipitação pluvial é alta (1.800 a 3.000 mm anuais) e a temperatura média anual varia de 24 a 28°C, com máxima de 34°C e mínima de 18°C (INMET, 2008).

O relevo predominante varia de plano a suave ondulado, com altitude média de 80 metros do nível do mar (IBGE, 2000; JARVIS et al., 2006). Destaca-se a unidade

morfoestrutural do Pediplano Rio Branco – Rio Negro, constituída em grande parte por sedimentos arenosos, predominantemente associados à Formação Içá, que refere-se a mantos arenosos com lentes de matéria orgânica (BRASIL, 1975a; 1976; 1977b; 1978).

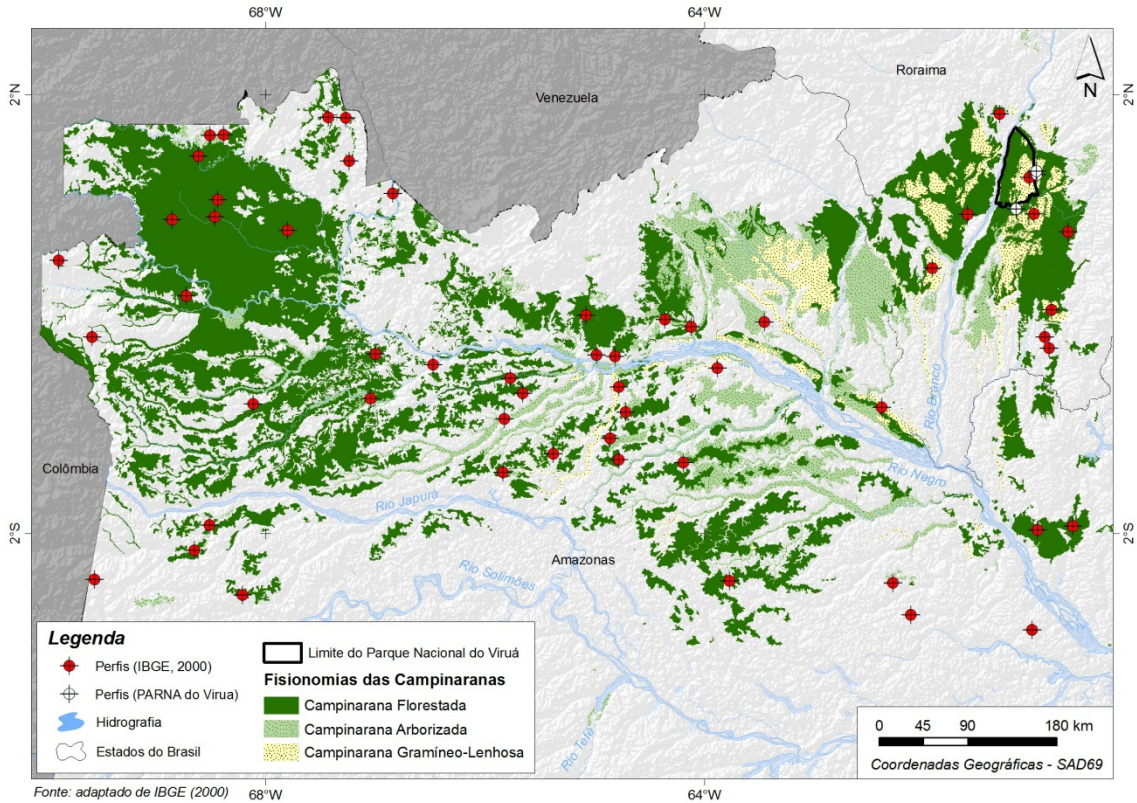


FIGURA 1: Localização dos principais perfis de solos estudados com a distribuição predominante das Campinaranas na Amazônia Ocidental Brasileira.

### *Fitofisionomias das Campinaranas Amazônicas*

De acordo com a classificação de Veloso et al. (1991) o sistema fitosionômico-ecológico das Campinaranas é dividido em três subgrupos de formação: Campinaranas Florestadas, Arborizadas e Gramíneo-Lenhosas. Na Campinarana Florestada o nível do lençol freático, normalmente, não aflora em superfície o que permite um porte maior da vegetação constituída por uma fisionomia florestal (Figura 2 - A), com dossel até 15 m de altura. São árvores de porte menor, quando comparadas com as áreas de Floresta Ombrófila, e possuem caules eretos, pouco ou nada tortuosos. Nas Campinaranas Arborizadas o porte da vegetação é menor e mais raquítico (Figura 2 - B), mas apresentam espécies em comum com as Campinaranas Florestadas.

Nas Campinaranas Gramíneo-Lenhosas o período mais prolongado de inundação sazonal dos solos dificulta o estabelecimento de árvores de maior porte (Figura 2 - D),

algumas vezes, formam feições de campos hidrófilos. Nestes ambientes abertos ocorrem áreas de maior exposição aos ventos, que nas fases mais secas de períodos glaciais promoveram a ativação dos campos de dunas. Destacam-se na região do baixo rio Branco e parte do rio Negro áreas com dunas inativas e parcialmente vegetadas (SANTOS e NELSON, 1995) (Figura 2 - C). Constituem dunas parabólicas e longitudinais, alongadas paralelamente segundo a direção do vento predominante, de NE para SW. Nas áreas dos lagos interdunas predominam os buritizais (*Mauritia* sp.). Nas fitofisionomias florestada e arbóreo-arbustiva (Figura 2 - A e B) predominam os Espodosolos (Figura 2 - a e b) e nas Campinaranas Gramíneo-Lenhosas (Figura 2 - C e D) os Neossolos Quartzarênicos (Figura 2 - d). Ocorrem ainda Espodosolos (Figura 2 - c) como inclusão nas áreas próximas aos arbustos em dunas inativas (Figura 2 - C).

## **Banco de Dados**

### ***Base de dados geográficos***

A partir da atualização e sistematização das informações dos recursos naturais da Amazônia desenvolvidos pelo IBGE (2000), o qual teve como base principal os mapeamentos realizados pelo Projeto RADAMBRASIL na década de 70, e de dados climáticos da classificação Köppen (PEEL et al., 2007), foram cruzadas as bases georreferenciadas das fitofisionomias das Campinaranas (Figura 1) com as bases de clima, geologia e solos da Amazônia Ocidental, a qual incluiu os Estados do Amazonas e de Roraima. Foram utilizadas técnicas básicas de geoprocessamento para a interseção das unidades de mapeamento, através do *software* ArcGIS 9.3.

Para as unidades de mapeamento dos solos foi considerado apenas o primeiro componente das associações. No total, os mapas originais de solos de toda a Amazônia Ocidental contêm 14.623 polígonos organizados em 381 unidades de mapeamento, compostas pela classe principal e as respectivas associações e/ou inclusões. No mapeamento geológico são 16.533 polígonos para representar 117 unidades geológicas no total. Para os dados climáticos, a base da Amazônia Ocidental contém apenas os três subtipos de clima tropicais (A): Af, Aw e Am.

Assim, a partir da integração dos dados pôde-se avaliar a distribuição geral das Campinaranas em toda a Amazônia Ocidental, sobre os diferentes climas, substratos geológicos e pedológicos.

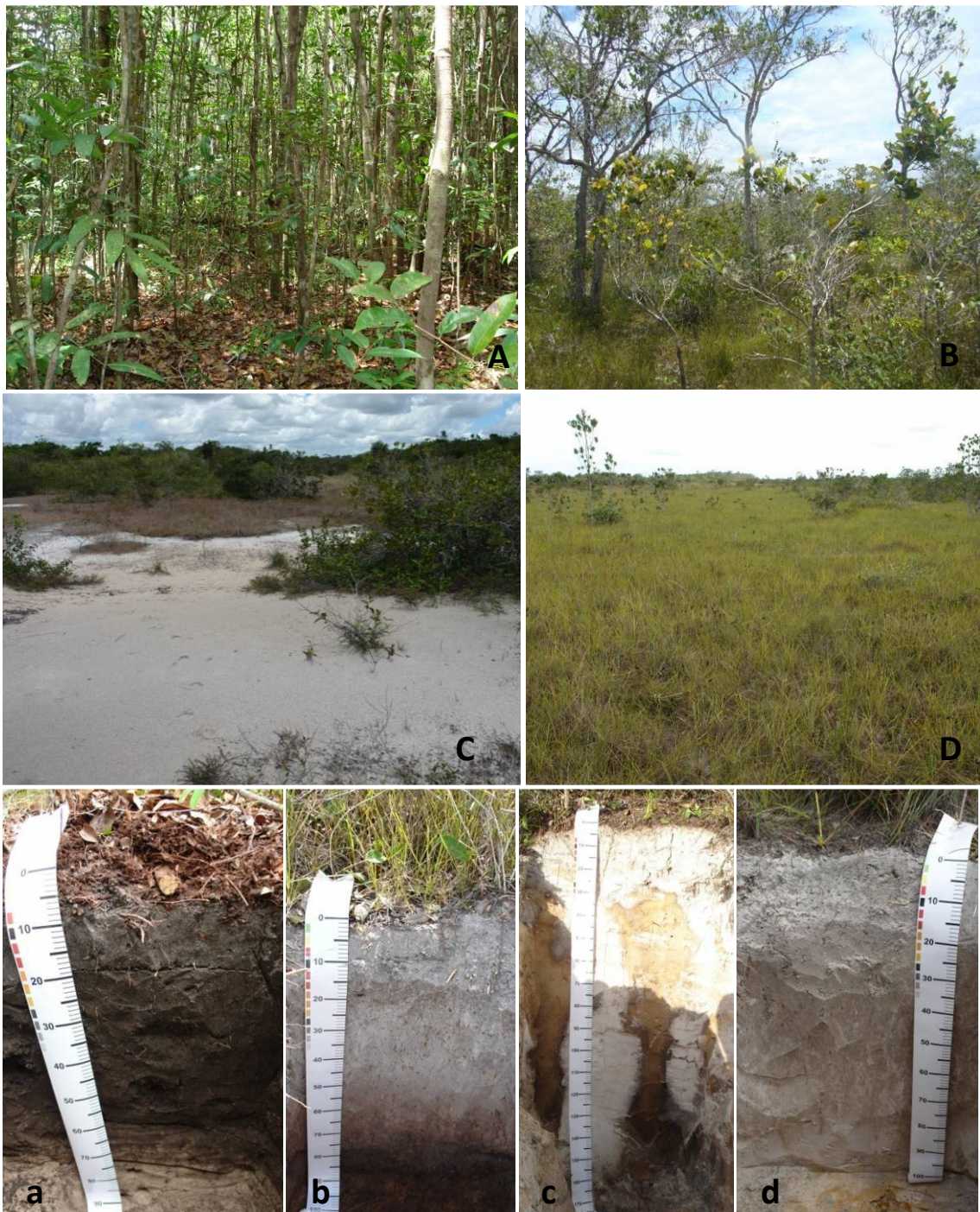


FIGURA 2: Fitofisionomias típicas das Campinaranas no PARNA Viruá (Roraima) e respectivos perfis representativos dos solos: (A e a) Campinarana Florestada e perfil de ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico arênico; (B e b) Campinarana Arborizada e perfil de ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico arênico; (C e c) Campinarana Gramíneo-Lenhosa em duna inativa e perfil de ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico espessarênico; (D e d) Campinarana Gramíneo-Lenhosa e perfil de NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Hidromórfico típico.

### ***Base de dados analíticos dos perfis de solo***

O banco de dados georreferenciados dos perfis de solos foi elaborado a partir do conjunto de perfis de solos coletados pelo Projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1975a; 1975b; 1976; 1977a; 1977b; 1978) nas áreas sob domínio da região fitoecológica das Campinaranas e em Áreas de Tensão Ecológica (contato Campinarana/Floresta Aberta ou Densa), bem como de perfis de referência, coletados no Parque Nacional do Viruá e entorno, no Estado de Roraima, contendo dados das análises químicas e físicas dos solos. Foram selecionados ao todo 67 perfis de solos, sendo 32 sob domínio da região fitoecológica das Campinaranas e 35 no contato Campinarana/Floresta Aberta ou Densa.

Para a organização dos perfis em fitofisionomias foram utilizadas as descrições de campo dos relatórios do Projeto RADAMBRASIL, assim como as coordenadas geográficas cruzadas com mapa de vegetação e solos, quando não havia as descrições no relatório. Apesar da diferenciação entre as fitofisionomias das Campinaranas seguir a classificação de Veloso et al. (1991), nas descrições de campo dos perfis de solos coletados pelo projeto RADAMBRASIL não constam tais subdivisões. Assim, para a identificação das subdivisões das Campinaranas (Florestada, Arborizada e Gramíneo-Lenhosa) foi realizado o cruzamento das coordenadas geográficas dos perfis com o mapa de vegetação, que possui maior detalhamento das regiões fitoecológicas. Quando o perfil ocorreu em área de contato Campinarana/Floresta no mapa de vegetação, e consta na descrição do perfil como cobertura vegetal de Campinarana, considerou-se a tipologia Campinarana Florestada.

Os perfis de solos foram organizados em classes, no primeiro nível categórico, para cada fitofisionomia. Os horizontes dos perfis de solo foram agrupados em superficiais e subsuperficiais e foram calculadas as médias ponderadas pelas espessuras de cada horizonte e o desvio padrão das seguintes análises químicas e físicas: pH H<sub>2</sub>O, fósforo assimilável (P), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T), saturação por bases (V), saturação por alumínio (m), matéria orgânica (MO), areia grossa, areia fina, silte e argila. Os dados químicos e físicos dos perfis de solos extraídos do Projeto RADAMBRASIL seguem a metodologia dos respectivos relatórios. As amostras coletadas no PARNA do Viruá foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas em malha de 2 mm, visando obter amostras na forma de terra fina seca ao ar (TFSA), sendo submetidas as análises de rotina química e física de acordo com a Embrapa (1997).

No caso dos Espodosolos e Neossolos Quartzarênicos, os horizontes foram agrupados em três camadas principais, a saber: *superficial*, que inclui apenas os horizontes A1; *eluvial*, que inclui os horizontes A2<sup>1</sup> e E com todas as subdivisões presentes (E1, E2, E3,...); *subsuperficial*, que inclui horizontes B diagnósticos (Bh, Bhs, Bs) ou apenas C1. Tal separação considerou a diferenciação genética dos horizontes eluviais, fato importante para a análise dos Espodosolos e Neossolos Quartzarênicos. Entretanto, para os demais solos (Argissolos, Gleissolos e Latossolos), como a camada eluvial é praticamente ausente ou de pequena espessura, foram agrupados em apenas duas camadas: *superficial* e *subsuperficial*.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Aspectos climáticos

Dentre as tipologias da classificação de Köppen, de acordo com Peel et al. (2007) ocorrem nas áreas mapeadas como Campinaranas os três subtipos de clima tropicais (A), com a temperatura média do mês mais frio do ano  $\geq 18^{\circ}\text{C}$ : Af (clima tropical úmido ou clima equatorial, com precipitação pluvial do mês mais seco  $\geq 60$  mm); Am (clima de monção, exceto Af e com precipitação pluvial do mês mais seco  $\geq 100$  mm – [precipitação média anual/25]) e Aw (clima tropical com estação seca de inverno, exceto Af e com precipitação pluvial do mês mais seco  $< 100$  mm – [precipitação média anual/25]).

A partir do cruzamento das áreas mapeadas com Campinarana (IBGE, 2000) com os dados georreferenciados da classificação de Köppen (PEEL et al., 2007) encontrou-se que, 76% das Campinaranas estão localizadas em áreas com o tipo Af, 10% com Am e 14% com Aw; o que está relacionado com as características dessa vegetação, algumas vezes denominadas de vegetação de influência pluvial (BRASIL, 1977b). As áreas dominadas por Florestas Ombrófilas possuem padrão semelhante de distribuição para mesmos subtipos climáticos de Köppen (IBGE, 2000; PELL et al., 2007).

De acordo com Schaefer et al. (2007), a bacia do rio Negro possui estreita relação entre a precipitação pluvial elevada e o carbono no solo e na biomassa da vegetação (tipicamente de Campinaranas). Tais relações são associadas ao elevado intemperismo químico, superfícies rebaixadas, baixa produção de carbono na biomassa

---

<sup>1</sup> Os horizontes A2 são camadas de depleção, lixiviados, também chamadas atualmente de horizontes E, eluviais; na Amazônia, estes horizontes podem variar de 20 a 200 cm (SOMBROEK, 1966).

vegetal e a iluviação de matéria orgânica dos horizontes superficiais para as camadas subsuperficiais. A exportação de carbono é ilustrada pela ampla distribuição dos rios de águas pretas que drenam a bacia do rio Negro. Segundo Sioli (1968), nestas condições de predomínio de solos arenosos, os rios são destituídos de partículas inorgânicas em suspensão, mas são ricos em substâncias húmicas dissolvidas e sempre muito ácidos (pH 3,7 a 4,7).

### **Geologia das Campinaranas: distribuição e caracterização**

A partir do cruzamento dos dados geológicos com as áreas dominadas pelas Campinaranas da Amazônia Ocidental, tem-se um predomínio das formações sedimentares recentes (Quaternário), constituídas principalmente de materiais arenosos, o que corrobora com as condições edáficas reportadas para esta vegetação. Destacam-se a Formação Içá com 63,7% de toda área dominada pelas Campinaranas, os Aluviões Holocênicos com 10% e a Cobertura Detrito-Laterítica Pleistocênica com 7% (Tabela 1). A unidade descrita como “Outras”, com 4,8% da área, corresponde a mais de 30 unidades geológicas, constituídas por pequenos polígonos localizados nas bordas das unidades principais. Estes polígonos são muitas vezes problemas cartográficos de escala e delineamentos mais generalizados, pois as interpretações e os mapeamentos foram realizados por diferentes profissionais e com técnicas distintas.

TABELA 1: Unidades geológicas presentes nas Campinaranas mapeadas pelo Projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1975a; 1975b; 1976; 1977a; 1977b; 1978) e IBGE (2000)

<b>Unidades Geológicas</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área em %</b>
Formação Içá	120361,6	63,7
Aluviões Holocênicos	18951,0	10,0
Cobertura Detrito-Laterítica Pleistocênica	13279,3	7,0
Terraços Holocênicos	7147,7	3,8
Complexo Cauaburi	3210,5	1,7
Suíte Intrusiva Curicuriari	2245,4	1,2
Grupo Trombetas	1920,4	1,0
Coberturas Eólicas Holocênicas	1818,0	1,0
Coluviões Holocênicos	1766,2	0,9
Outras	9126,3	4,8

A Formação Içá é constituída de sedimentos arenosos inconsolidados a semi-consolidados sem exibir estratificação horizontal evidente, aflorantes nas bacias dos rios Branco e Rio Negro, e semelhante à Formação Solimões, nas bacias do Acre e do Alto

Amazonas (BRASIL, 1975a; CPRM, 2000). A presença generalizada das Campinaranas sobre esta unidade restringe-se principalmente à bacia do Rio Negro, provavelmente associada a condições climáticas mais úmidas e favoráveis aos processos de podzolização e arenização dos solos (SCHAEFER et al., 2007). Maia et al. (1977, citado por CPRM, 2000), em estudos na região do alto rio Solimões, destacaram que a Formação Solimões é recoberta por um pacote sedimentar constituído predominantemente por arenitos friáveis amarelo-avermelhados de granulometria fina a conglomerática, denominando esse conjunto de Formação Içá e interpretaram-no como tipicamente continental. Esses sedimentos, de idade pleistocênica, foram depositados em ambiente continental, fluvial, associado às planícies de inundação e/ou meandros abandonados. A Formação Içá possui áreas recobertas por depósitos aluvionares e eólicos recentes, oriundos principalmente do retrabalhamento de suas próprias camadas (CPRM, 2000); essas unidades correspondem aos Aluviões e Terraços Holocênicos e as Coberturas Eólicas Holocênicas, respectivamente.

Os Aluviões Holocênicos são depósitos aluvionares de grande extensão lateral, recentes, constituídos predominantemente por areias e cascalhos além de conglomerados e argilas, mosqueados; encontrados em praticamente todos os rios da região amazônica (BRASIL, 1975a, 1975b, 1976, 1977a, 1977b, 1978; CPRM, 2000). Com constituição semelhante, típica dos depósitos fluviais, os Terraços Holocênicos são depósitos encontrados sobre terraços, que foram palco de antigas planícies de inundação. Em ambas as condições predominam as Campinaranas Florestadas, algumas vezes denominadas de Florestas de Igapó, onde as inundações por ocasião do transbordamento dos rios apresenta-se com fraca deposição de sedimentos minerais. Spruce (1908, citado por Veloso et al., 1991) foi o pioneiro no uso do termo “Caatinga-gapó”, o qual significa vegetação lenhosa dos pântanos (VELOSO et al. 1991), em referência ao termo igapó.

Sobre as Coberturas Eólicas Holocênicas há diversas referências relatadas há muito tempo na literatura nas bacias dos rios Branco e Tacutu (SCHAEFER e DALRYMPLE, 1995). São depósitos eólicos constituídos por areia “bimodal”, bem arredondada, grãos foscas, de granulação fina a média e estratificações cruzadas de médio a grande porte e superfícies de deflação (IBGE, 2000). Santos e Nelson (1995) relatam a ocorrência dos campos de dunas fósseis nas áreas de maior exposição aos ventos, ativas durante as fases mais secas de períodos glaciais, as quais se encontram atualmente estacionadas e parcialmente vegetadas.

As Coberturas Detrito-Lateríticas Pleistocênicas, por sua vez são constituídas por sedimentos argilo-arenosos amarelados, caulíníticos, alóctones e autóctones, parcial a totalmente pedogeneizados (Latosolos Amarelos argilo-arenosos), gerados por processos alúvio-colúviais (IBGE, 2000). Tais formações latossólicas parecem correlacionar-se com as áreas de contato entre as Campinaranas e as Florestas Ombrófilas. Alguns autores (ALTEMULLER e KLINGE, 1964; BRAVARD e RIGHI, 1990; ANDRADE et al. 1997; LUCAS et al., 1984; MAFRA et al. 2002) postulam que as formações latossólicas são, possivelmente, precursoras das Areias Quartzosas Hidromórficas (ou Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos), em razão dos processos pedogenéticos clássicos dos solos alagados, tais como ferrólise e acidólise (BRINKMAN, 1970; ANDRADE, 1990).

Com exceção do Complexo Cauaburi (1,7%) e a Suíte Intrusiva Curicuriari (1,2%), constituídos respectivamente por rochas metamórficas e plutônicas, as principais unidades geológicas encontradas sob as Campinaranas são rochas sedimentares clásticas. O Complexo Cauaburi e a Suíte Intrusiva Curicuriari são unidades geológicas que limitam-se com as unidades sedimentares predominantes. Portanto, a inclusão dessas unidades, possivelmente, está relacionada às generalizações do mapeamento cartográfico, as quais incluem apenas áreas de borda. Estas unidades podem ocorrer na forma de *inselbergs* florestados, caracterizados por relevos residuais de destaque na paisagem regional extremamente aplainada, sob o domínio das Campinaranas. Em menor proporção, mas associados a essas elevações, no sopé das montanhas, ocorrem os Coluviões Holocênicos compondo os chamados leques aluviais com seu padrão de drenagem distributário bem característico; constituem-se de partículas angulares a ligeiramente arredondadas, comumente de cor vermelha, contendo fragmentos de rocha e sedimentos finos a grosseiros (IBGE, 2000)

O Grupo Trombetas pertence ao Paleozóico Siluriano Inferior e é constituído por intercalações de arenitos, siltitos e folhelhos, havendo predominância de arenitos na base e os folhelhos no topo da seção; distribui-se desde as proximidades de Manaus até próximo a Ilha de Marajó em um alinhamento paralelo ao Rio Amazonas (IBGE, 2000). As áreas dominadas pelas Campinaranas Florestadas (ou Florestas de Igapó) pertencentes a este Grupo ocorrem a alguns quilômetros de Manaus, nas adjacências da região conhecida entre os maiores arquipélagos fluviais do mundo, as Anavilhanas (OLIVEIRA e DALY, 2001).

## Distribuição dos solos nas Campinaranas

De acordo com o mapeamento dos solos (IBGE, 2000) presentes nas Campinaranas destacam-se os Espodossolos com mais de 55% de ocorrência, distribuídos por quase toda a área estudada (Tabela 2). Os Neossolos Quartzarênicos, com quase 10%, ocupam principalmente a região da margem esquerda do Rio Negro, ao norte da linha do Equador, próximo dos sopés de conjuntos serranos do Complexo Guianense mais ao norte. Os solos arenosos são determinantes para a ocorrência das Campinaranas, no entanto, esta vegetação é primariamente associada às condições climáticas mais úmidas, sendo também denominadas de vegetação de influencia pluvial (BRASIL, 1977b). Assim, a influência serrana do Complexo Guianense pode contribuir para o aumento das precipitações pluviais orográficas e, conseqüentemente, favorecimento dos processos pedogenéticos de podzolização e arenização dos solos.

TABELA 2: Primeiro componente das unidades de mapeamento de solos presentes nas Campinaranas, obtidos do Projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1975a; 1975b; 1976; 1977a; 1977b; 1978) e IBGE (2000).

Classe de solo	Área	
	(km <sup>2</sup> )	(%)
Espodossolos	98532,86	55,2
Neossolo Quartzarênico	17656,46	9,9
Argissolo Vermelho-Amarelo	16658,70	9,3
Latossolo Amarelo	16503,16	9,3
Gleissolo	14547,46	8,2
Latossolo Vermelho-Amarelo	8396,76	4,7
Plintossolo	5426,63	3,0
Outros	434,26	0,2

Os Argissolos são reportados para as áreas ecotonais Florestas-Campinaranas, marginais às areias quartzosas hidromórficas, e estão associados aos *inselbergs*, colinas, encostas dissecadas, rampas e superfícies pediplanadas. Os Latossolos, Gleissolos e Plintossolos não ocorrem em áreas de Campinaranas, assim, sua inclusão no cruzamento dos dados com mais de 25% se deve aos erros cartográficos de escala (Tabela 2).

## Características analíticas dos principais solos das Campinaranas e áreas ecotonais

Nas áreas de Campinaranas e de contato Campinaranas/Florestas, foram avaliados os resultados de 24 perfis de Espodossolos e 14 perfis de Neossolos (Tabela 3), o que corresponde a 57% dos perfis de solos estudados. Estes solos são

predominantemente arenosos, provenientes de materiais de origem de natureza arenoquartzosa.

Nas Campinaranas também predominam os Espodossolos e os Neossolos, no entanto foram descritas outras classes de solos para esta vegetação (Tabela 3). Para os outros solos, possivelmente, a vegetação descrita confunde-se com as Formações Pioneiras ou correspondem às áreas ecotonais ou ainda, são inclusões de perfis de solo em unidades de mapeamento mais extensas das Campinaranas, ou seja, as limitações das escalas geográficas utilizadas.

TABELA 3: Número de perfis de solo estudados no Projeto RADAMBRASIL nas tipologias vegetais das Campinaranas e nos Contatos Campinaranas/Florestas

Vegetação	Número de perfis de solo estudados por classe de solo								
	E	R	G	S	L	F	P	C	TOTAL
Campinaranas (Gl + Ar + FI)	19	8	2	1	1	1	-	-	<b>32</b>
Gramíneo-Lenhosa (Gl)	2	1	-	-	-	-	-	-	<b>3</b>
Arborizada (Ar)	7	2	1	-	-	-	-	-	<b>10</b>
Florestada (FI)	10	5	1	1	1	1	-	-	<b>19</b>
Contato Campinaranas/ Florestas Aberta e Densa	5	6	5	2	3	2	10	2	<b>35</b>
<b>TOTAL</b>	<b>24</b>	<b>14</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>10</b>	<b>2</b>	<b>67</b>

Legenda das classes de solos: E – Espodossolos; R – Neossolos; G – Gleissolos; S – Planossolos; L – Latossolos; F – Plintossolos; P – Argissolos; C – Cambissolos.

No caso dos Gleissolos, foram avaliados dois perfis nas Campinaranas, no entanto, sua ocorrência não é registrada para esta vegetação. Estes solos são comuns em áreas de influência fluvial e em comunidades vegetais denominadas Formações Pioneiras, que variam desde pantanosas (herbáceas) até os agrupamentos de *Palmae* dos gêneros *Euterpe* e *Mauritia*, constituindo os açazais e buritizais. No entanto, na Folha NA.20 Boa Vista (BRASIL, 1975a), as Campinaranas foram identificadas e descritas de maneira generalizada, com a distinção das Formações Pioneiras Arbóreas, Arbustivas e Lenhosa-Graminóides. Neste sentido, confunde-se as Campinaranas com as verdadeiras Formações Pioneiras de influência fluvial descritas por Veloso et al. (1991) e outros relatórios do Projeto RADAMBRASIL.

Nas áreas de contato Campinaranas/Florestas ocorre uma maior diversificação de solos, com destaque para os Argissolos, com 10 perfis amostrados pelo Projeto RADAMBRASIL (Tabela 3). Predominam, tipicamente, os solos mais argilosos, comparados com solos das Campinaranas, mais arenosos. Com mais de três perfis

coletados destacam-se também os Gleissolos, Latossolos, Neossolos e Espodosolos (Tabela 3), os quais corroboram com a diversidade pedológica do ambiente transicional.

### ***Os Solos das Campinaranas***

Os principais perfis de solos nas Campinaranas (Gl + Ar + Fl) são os Espodosolos e os Neossolos, que correspondem a 27 dentre os 32 perfis de solos amostrados pelo Projeto RADAMBRASIL (Tabela 3). São solos ácidos (pH entre 4,1 e 5,4), de baixa fertilidade ( $SB < 1,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) e distróficos ( $V < 35,6\%$ ) (Tabela 4). Destacam-se como solos de textura muito arenosa, com média geral maior que  $55 \text{ dag kg}^{-1}$  de areia e menor que  $9,7 \text{ dag kg}^{-1}$  de argila. Os desvios padrões elevados para as frações areia grossa e fina (Tabela 4), possivelmente, são associados às variações do material de origem, o qual varia desde sedimentos finos retrabalhados pelos ventos aos sedimentos mais grosseiros depositados por rios e lagos. De modo geral, os valores médios de areia total nos solos das Campinaranas variam de 54,8 a 91,1  $\text{dag kg}^{-1}$  e nos solos das áreas de contato Campinarana/Floresta de 41,9 a 74,5  $\text{dag kg}^{-1}$ . Os solos mais arenosos prevalecem nas Campinaranas e, de acordo com os dados, espera-se que sua ocorrência seja associada a valores mínimos de  $55 \text{ dag kg}^{-1}$  de areia, na média geral em cada perfil de solo.

As Campinaranas Florestadas e Arborizadas possuem solos com maiores teores de MO em superfície em associação direta com a CTC e a SB (Tabela 4). Os Espodosolos são mais ricos em superfície que os Neossolos e, normalmente, estão associados aos agrupamentos arbóreo-arbustivos, que incorporam mais biomassa vegetal ao solo. Estes solos apresentam horizontes superficiais e subsuperficiais ricos em carbono orgânico e prevalecem nas Campinaranas Florestadas (Tabela 4). Diferentemente, as fisionomias das Campinaranas Arborizadas e Gramíneo-Lenhosa apresentam-se em mosaicos, em unidades de mapeamento de Neossolos (Quartzarênicos) com associações de Espodosolos, a depender da escala de mapeamento.

Os Espodosolos apresentam aumento da Matéria Orgânica (MO) em subsuperfície (horizontes espódicos), associado ao aumento da CTC, de P assimilável e da Saturação por Al (m); o que sugere a formação dos complexos MO-Al, com elevada afinidade por fosfatos (NOVAIS et al., 2007). A matéria orgânica do solo quando não é mineralizada ou retida nos horizontes subsuperficiais (espódicos), é lixiviada para os corpos d'água de superfície, como rios e lagos.

Os Neossolos, ainda mais pobres quimicamente que os Espodosolos, normalmente são solos alagados na maior parte do ano, e sofrem secas severas de poucos meses, ou até semanas, quando há o rebaixamento do nível do lençol freático. Sobre estes solos predomina uma fisionomia herbácea, altamente susceptível ao fogo durante os períodos de maior seca, o que pode estar relacionado com as grandes extensões campestres, que parecem ter coevoluído com todo esse ecossistema arenícola de plantas anãs, com adaptações morfológicas de folhas coriáceas, cutículas espessas, pilosidade, estômatos crípticos e lenho muito duro.

TABELA 4: Resultado da análise química e física, com média e desvio padrão das camadas dos principais solos coletados nas Campinaranas, sob as diferentes fitofisionomias.

CAMADAS	pH H <sub>2</sub> O	P	SB	T	V	m	MO	AG	AF	Silte	Argila
		mg dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	%	dag kg <sup>-1</sup>	dag kg <sup>-1</sup>	dag kg <sup>-1</sup>	dag kg <sup>-1</sup>	dag kg <sup>-1</sup>	dag kg <sup>-1</sup>	dag kg <sup>-1</sup>
<b>Campinarana Florestada</b>											
<i>Espodosolo (10 perfis)</i>											
Superficial	4,1 ± 0,4	0,8 ± 0,8	0,5 ± 0,2	13,1 ± 10	7,4 ± 7,5	49,7 ± 33,4	8,1 ± 8,3	38,3 ± 21,0	37,4 ± 17,0	19,3 ± 11,9	5,0 ± 4,0
Eluvial	4,7 ± 0,5	0,8 ± 1,1	0,2 ± 0,2	4,1 ± 4,2	12,7 ± 15,5	34,6 ± 35,9	1,1 ± 1,1	39,9 ± 22,3	40,3 ± 17,2	15,8 ± 8,6	3,9 ± 4,4
Subsuperficial	4,8 ± 0,7	4,1 ± 9,4	0,3 ± 0,2	7,4 ± 4,7	6,7 ± 11,6	69,4 ± 28,3	2,5 ± 1,7	39,6 ± 14,3	35,9 ± 11,6	16,7 ± 8,6	7,8 ± 3,9
<i>Neossolo (5 perfis)</i>											
Superficial	4,6 ± 0,7	0,5 ± 0,5	0,2 ± 0,1	6,1 ± 2,2	4,2 ± 4,6	80,3 ± 13,5	2,4 ± 1,5	39,6 ± 26,8	39,0 ± 24,5	14,9 ± 8,0	6,5 ± 4,9
Eluvial	4,6 ± 0,8	0,5 ± 0,6	0,1 ± 0,1	4,9 ± 1,5	3,3 ± 2,6	85,0 ± 08,8	1,8 ± 0,6	26,9 ± 15,7	46,8 ± 14,3	16,6 ± 9,5	9,7 ± 3,9
Subsuperficial	4,7 ± 0,5	0,4 ± 0,5	0,1 ± 0,1	1,9 ± 1,0	6,0 ± 4,4	62,4 ± 36,5	0,5 ± 0,1	34,4 ± 22,2	42,4 ± 18,1	14,9 ± 7,5	8,4 ± 5,3
<b>Campinarana Arborizada</b>											
<i>Espodosolo (7 perfis)</i>											
Superficial	4,4 ± 0,7	2,0 ± 1,9	1,2 ± 1,9	28,7 ± 35,6	3,6 ± 1,2	63,1 ± 27,0	12,9 ± 12,6	35,4 ± 30,3	37,1 ± 31,6	24,1 ± 30,1	3,5 ± 1,4
Eluvial	5,2 ± 0,4	0,9 ± 0,7	0,1 ± 0,1	1,4 ± 1,0	24,3 ± 30,1	49,9 ± 38,0	0,6 ± 0,4	41,2 ± 18,1	41,5 ± 16,9	15,6 ± 7,5	1,7 ± 1,1
Subsuperficial	4,7 ± 0,5	2,5 ± 4,1	0,1 ± 0,1	7,0 ± 3,9	1,9 ± 1,6	90,8 ± 9,5	2,1 ± 1,1	40,6 ± 20,6	41,7 ± 16,2	13,7 ± 8,3	4,0 ± 2,9
<i>Neossolo (2 perfis)</i>											
Superficial	5,1 ± 1,1	1,0 ± 0,0	0,1 ± 0,2	2,8 ± 2,9	10,0 ± 7,1	38,5 ± 54,4	2,1 ± 2,2	2,1 ± 1,6	40,5 ± 4,7	55,2 ± 8,3	2,3 ± 1,0
Eluvial	5,4	1	0	0,6	18	0	0,4	7	56	37	0
Subsuperficial	5,1 ± 0,6	1,0 ± 0,0	0,1 ± 0,2	1,2 ± 0,2	35,6 ± 26,3	26,5 ± 37,5	0,3 ± 0,1	5,0 ± 5,8	57,9 ± 15,6	31,6 ± 4,3	5,5 ± 5,5
<b>Campinarana Gramíneo-Lenhosa</b>											
<i>Espodosolo (2 perfis)</i>											
Superficial	5,3	1	0,1	0,6	16	81	0,7	50	47	1	2
Eluvial	5,4 ± 0,6	1,2 ± 0,3	0,1 ± 0	1,4 ± 1,6	15,9 ± 19,9	72,7 ± 22,2	0,5 ± 0,2	37,7 ± 17,4	55,5 ± 17,6	5,8 ± 1,7	1 ± 1,4
Subsuperficial	4,7 ± 0,8	23,1 ± 29,8	0,0 ± 0	12,7 ± 12,2	0,9 ± 0,2	95,6 ± 3,4	3,8 ± 4,0	42,0 ± 15,6	44,0 ± 28,3	9,5 ± 10,6	4,5 ± 2,1
<i>Neossolo (1 perfil)</i>											
Eluvial	5,2	1,2	0	1,7	1,2	95,3	1,8	23	57	19	1
Subsuperficial	5	1,1	0	0,7	0	100	0,8	37	50	12	1

Legenda: P – fósforo; SB – Soma de Bases; T – Capacidade de Troca Catiônica a pH 7; V – Saturação por Bases; m – Saturação por Al; MO – Matéria Orgânica; AG – Areia Grossa; AF – Areia Fina.

### Os Solos das Áreas Ecotonais do Contato Campinarana/Florestas

Nas áreas de contato ocorre uma maior variedade de solos mais argilosos que os solos das Campinaranas (Tabela 5). Mesmo na transição para os ambientes mais florestais estes solos são em média ácidos, com pH entre 3,7 a 4,8, de baixa fertilidade (SB < 1,5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e distróficos (V < 14,3 %) (Tabela 5). Prevaecem os Argissolos dentre os perfis estudados, os quais possuem baixo gradiente textural e são pouco

argilosos (Tabela 5). Os Neossolos e Espodosolos possuem características muito semelhantes com os solos amostrados nas Campinaranas. São solos arenosos (com areia total > 64 dag kg<sup>-1</sup>), ácidos, distróficos e de baixa fertilidade (Tabela 5). Da mesma forma possuem desvio padrão mais elevado para areia grossa e fina, o que sugere as variações do material de origem. Ocorrem ainda alguns Latossolos com variações texturais, indicadas pelo desvio padrão mais alto na areia e argila (Tabela 5).

TABELA 5: Resultado da análise química e física, com média e desvio padrão dos principais solos coletados nas áreas de contato Campinaranas / Florestas.

CAMADAS	pH H <sub>2</sub> O	P	SB	T	V	m	MO	AG	AF	Silte	Argila
		mg dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	%	dag kg <sup>-1</sup>	dag kg <sup>-1</sup>	dag kg <sup>-1</sup>	dag kg <sup>-1</sup>	dag kg <sup>-1</sup>	dag kg <sup>-1</sup>	dag kg <sup>-1</sup>
<i>Argissolo (10 perfis)</i>											
Superficial	4,2 ± 0,5	0	0,5 ± 0,2	7,9 ± 3,1	7,1 ± 5	63 ± 26,2	2,5 ± 1,8	17 ± 14,5	31,1 ± 15,1	29,4 ± 10,6	22,6 ± 10,7
Subsuperficial	3,7 ± 2	0	0,4 ± 0,3	3,9 ± 2,9	10,6 ± 6,4	52,7 ± 30,4	0,6 ± 0,5	22,7 ± 30,2	27,1 ± 15,3	19,9 ± 13,9	28,6 ± 8,6
<i>Neossolos (6 perfis)</i>											
Superficial	4,1 ± 0,5	1,0 ± 0,6	0,8 ± 0,2	11,6 ± 4,6	8,2 ± 3,7	64,5 ± 10,1	4,0 ± 3,2	59,5 ± 20,1	14,3 ± 7,5	20,8 ± 12	5,4 ± 3,3
Eluvial	4,6 ± 0,7	0,6 ± 0,6	0,4 ± 0,3	4,0 ± 1,4	11,5 ± 12	68 ± 32,5	1,1 ± 0,6	44 ± 2,8	20,5 ± 3,5	27 ± 2,8	8,5 ± 3,5
Subsuperficial	4,8 ± 0,4	0,6 ± 0,5	0,3 ± 0,3	2,3 ± 1,7	11,2 ± 5	52,7 ± 31,4	0,9 ± 0,9	53,1 ± 20,3	25,4 ± 21,6	16,3 ± 10,8	5,2 ± 5,1
<i>Espodosolo (5 perfis)</i>											
Superficial	3,7 ± 0,3	1 ± 1,4	1,5 ± 2,3	15,8 ± 10,6	8,1 ± 7,2	61,6 ± 35,8	7,2 ± 6,7	35,4 ± 10,6	39,9 ± 16,9	22,5 ± 13,2	2,2 ± 1
Eluvial	3,9 ± 1,1	0,5 ± 0,7	0,3 ± 0,1	2,5 ± 2,2	14,3 ± 12,4	53,1 ± 33,8	0,8 ± 0,7	29,5 ± 19,6	40,5 ± 14,7	20,2 ± 13,4	3,1 ± 3,9
Subsuperficial	4,3 ± 0,4	0,5 ± 0,7	0,3 ± 0,1	6,9 ± 4,5	6,9 ± 5,8	76,4 ± 15,9	1,8 ± 1,7	28,4 ± 16,3	44,7 ± 16,2	17,8 ± 13	9,0 ± 5,9
<i>Gleissolo (5 perfis)</i>											
Superficial	4,5 ± 0,6	0,7 ± 0,4	0,4 ± 0,4	10,6 ± 7,1	4,4 ± 3,7	74,2 ± 17,9	4,9 ± 3,2	21,3 ± 27,9	20,5 ± 11,1	37,8 ± 24,4	20,4 ± 26
Subsuperficial	4,8 ± 0,4	0,6 ± 0,5	0,3 ± 0,2	3,5 ± 2	7,0 ± 3,7	84,3 ± 8,9	0,7 ± 0,3	17,6 ± 23,3	24,4 ± 11,9	28,0 ± 16,8	30 ± 24,9
<i>Latossolo (3 perfis)</i>											
Superficial	4,2 ± 0,6	0,1 ± 0,1	0,5 ± 0,2	5,9 ± 2,1	7,5 ± 6,8	43,3 ± 39,4	2,2 ± 0,4	35,9 ± 28,5	17,3 ± 19,4	14,6 ± 3,8	32,3 ± 25,1
Subsuperficial	4,5 ± 0,6	0	0,4 ± 0,3	4,2 ± 1,3	7,8 ± 6,7	37 ± 39,8	0,9 ± 0,4	29,9 ± 24,8	17,7 ± 19,7	12,0 ± 5,7	40,4 ± 26,1

De maneira geral, mesmo apresentando maior diversificação pedológica, os solos das áreas ecotonais guardam semelhanças com os solos encontrados nas Campinaranas, o que se relaciona com as características de transição sequencial de solos discutida por Mafra et al. (2002). Na região do alto Rio Negro, estes autores destacam as transformações *in situ* de Latossolos em areias brancas hidromórficas e, posteriormente, a formação de Espodosolos hidromórficos, onde o principal processo pedogeoquímico envolvido na perda de argila seria a acidólise, provocando dissolução dos argilo-minerais presentes (gibbsita e caulinita). Os Espodosolos possuem o maior conteúdo médio de MO em superfície (Tabela 5), comparado às outras classes de solos estudados, onde, comumente, destacam-se turfeiras espessas sob horizontes A ricos em carbono orgânico (DUBROEUCQ e VOLKOFF, 1998).

## CONCLUSÕES

1) A distribuição das unidades geológicas de sedimentos clásticos arenosos na Amazônia Ocidental apresenta boa relação com a distribuição das Campinaranas, apesar da preponderância morfoclimática (precipitação pluvial alta) determinante em sua formação.

2) Sugere-se um limite mínimo de  $55 \text{ dag kg}^{-1}$  de areia nos solos para a ocorrência das Campinaranas Amazônicas, que estão mais relacionados aos Espodossolos e Neossolos, ao passo que nas áreas ecotonais Florestas-Campinaranas predominam os Argissolos.

3) Mesmo em diferentes formações geológicas (granitos, gnaisses, arenitos) e com processos pedogenéticos distintos, os Espodossolos e os Neossolos das Campinaranas possuem características morfológicas, químicas e físicas muito semelhantes.

4) Apesar da diversidade pedológica das áreas ecotonais, os solos encontrados guardam semelhanças com os solos das Campinaranas, como na textura, acidez e distrofismo dos solos.

5) Os solos das Campinaranas estocam grandes quantidades de carbono orgânico nos horizontes subsuperficiais do solo, principalmente nos Espodossolos, os quais são extremamente relevantes no sequestro e a ciclagem de carbono nestes ambientes.

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Áreas Protegidas da Amazônia (Programa ARPA), ao ICMBio (Roraima), à equipe do Parque Nacional do Viruá e ao CNPq, pelo apoio e financiamento deste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, J. A. **Characteristic avifauna of white-sand forests in northern peruvian Amazonia**. 2002. (MSc thesis) Baton Rouge, LA, Louisiana State University.

ALTEMULLER, H.J; KLINGE, H. Micromorphological investigation on development of podzol in Amazon basin. Plön, Max Plank Institute of Limnology. **Soil Micromorphology**, p. 295-305. 1964.

ANDERSON, A. B. **Aspectos florísticos e fitogeográficos de Campinas e Campinaranas, na Amazônia Central, Manaus**. 1978. (Dissertação de Mestrado em Ciências Biológicas) INPA-FUA, Manaus.

- ANDERSON, A. B. White-sand Vegetation of Brazilian Amazonia. **Biotropica**, 13(3):199-210, 1981.
- ANDERSON, A. B.; PRANCE, G.T.; ALBUQUERQUE, B.W.P. Estudos sobre as vegetações de Campinas Amazônica III: A vegetação lenhosa da Campina da Reserva Biológica INPA –SUFRAMA (Manaus-Caracaraí, km 62). **Acta Amazonica**, 5(3):225-246, 1975.
- ANDRADE, H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; DEMATTÊ, J. L. I.; ANDRADE, F. V. Pedogeomorfologia e micropedologia de uma seqüência de Latossolo – Areia Quartzosa Hidromórfica sobre rochas cristalinas do Estado do Amazonas. **Genomos**. Belo Horizonte, 5(1): 55-66. 1997.
- ANDRADE, H. **Evolução de uma seqüência de solos argilosos até arenosos no Complexo Guianense da Amazônia**. 1990. (Tese de Doutorado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba 179p.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. **Folha NA. 20 Boa Vista e parte das Folhas NA -21 Tumuquamaque, NB – 20 Roraima e NB – 21**, Rio de Janeiro, v.8, 428 p. 1975a. (Levantamento dos Recursos Naturais, 8).
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. **Folha NA. 21 Tumucumaque e parte da Folha NB. 21**; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra, Rio de Janeiro, 370 p. 1975b (Levantamento dos Recursos Naturais, 9).
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. **Folha NA. 19 Pico da Neblina**; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 380 p. 1976 (Levantamento dos Recursos Naturais, 11).
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. **Folhas SB/SC. 18 Javari/Contamana**; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra, Rio de Janeiro, 420 p. 1977a (Levantamento de Recursos Naturais, 13).
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SA. 19 Içá**; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 452 p. 1977b (Levantamento dos Recursos Naturais, 14).
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SA. 20 Manaus**; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 628 p. 1978 (Levantamento dos Recursos Naturais, 18)
- BRAVARD, S.; RIGHI, D. Podzols in Amazonia. **Catena** 17,461–475. 1990.
- BRINKMAN, R. Ferrolysis, a hydromorphic soil forming process. **Geoderma**, Amsterdam, 3:199-206, 1970.
- CPRM, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. **Projeto de Mapeamento Geológico / Metalogenético**

**Sistemático** Caracará: Folhas NA.20-Z-B e NA.20-Z-D inteiras e parte das folhas NA.20-Z-A, NA.20-Z-C, NA.21-Y-C e NA.21-Y-A. Brasília, 2000.

DUBROEUCQ, D., BLANCANEUX, P. Les podzols du haut rio Negro, region de Marao, Venezuela. **Environnement et relations lithologiques**. In: RIGHI, D.,

CHAUVEL, A., eds. Podzols et podzolisation. Paris, INRA, 1987. p.37-52.

DUBROEUCQ, D., VOLKOFF, B. From Oxisols to Spodosols and Histosols: evolution of the soil mantles in the rio Negro basin (Amazonia). **Catena**, 32:245-280, 1998.

DUCKE, A.; BLACK, G.A. Notas sobre a fitogeografia da Amazônia brasileira. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo do Norte**, Belém. 29:1-62, 1954.

DUIVENVOORDEN, J. F. Patterns of tree species richness in rainforests of the middle Caqueta area, Colombia, NW Amazonia. **Biotropica** 28(2):142-158. 1996.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2ª. Ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p.

FERREIRA, C. A. C. **Variação Florística e Fisionômica da Vegetação de Transição Campina, Campinara e Floresta de Terra Firme**. 1997. (Dissertação de Mestrado em Ciências Biológica) UFRPE, 112p.

GRIBEL, R.; FERREIRA, C.A.C.; COELHO, L. de S.; SANTOS, J.L. dos; RAMOS, J.F.; SILVA, K.A.F.da. Vegetação do Parque Nacional do Viruá – RR. **Relatório Técnico/ICMBio**. 2009. 58p.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. **Série Manuais Técnicos em Geociências. No. 1**, Rio de Janeiro, 1992. 92p.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Geociências. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Projeto Sistematização das Informações Sobre Recursos Naturais**. 2000.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/html/clima.php>> Acesso em: 20 de maio de 2008.

JARVIS A., H. I. REUTER, A. NELSON, E. GUEVARA, 2006. **Hole-filled seamless SRTM data v3**, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT), disponível em <http://srtm.csi.cgiar.org>

LUCAS Y.; CHAUVEL A.; BOULET R.; RANZANI G., SCATOLINI F. Transição Latossolos-podzóis sobre a formação Barreiras na região de Manaus, Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 8:325-335, 1984.

MAFRA, A.L.; MIKLÓS A. A. W.; VOLKOFF, B.; MELFI, A. J. Pedogênese numa seqüência Latossolo-Espodossolo na região do alto rio Negro, Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:381-394, 2002

- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. SBCS, Viçosa, 2007. **Fertilidade do Solo**, 1017p. (eds. NOVAIS, R.F., ALVAREZ V., V.H., BARROS, N.F., FONTES, R.LF., CANTARUTTI, R.B., NEVES, J.C.L.).
- OLIVEIRA, A.A.de; DALY, D.C. **Florestas do Rio Negro**. São Paulo. Companhia das Letras: UNIP, 2001.
- PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; McMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth System Science*, 11, 1633–1644, 2007.
- POLETO, F.; ALEIXO, A. Implicações biogeográficas de novos registros ornitológicos em um enclave de vegetação de campina no sudoeste da Amazônia brasileira. **Revista Brasileira de Zoologia**. 22:1196-1200, 2005.
- PRANCE, G.T.; SCHUBART, H.O.R. Nota preliminar sobre a origem das campinas abertas de areia branca do rio Negro. **Acta Amazonica**. 3(4):567-550, 1978.
- SANTOS, J.O.S.; NELSON, B.W. Os campos de dunas do Pantanal Setentrional. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO, 8, Caracas, Venezuela, **Anais...**1995. 9p.
- SCHAEFER, C. E. G. R. ; DALRYMPLE, J. Landscape Evolution In Roraima, North Amazonia: Planation, Paleosols And Paleoclimates. **Zeitschrift für Geomorphologie**, BERLIN, v. 39, n. 1, p. 1-28, 1995.
- SCHAEFER C.E.G.R.; AMARAL, E.F.do; MENDONÇA, B.A.F.de; OLIVEIRA; H.; LANI, J.L.; COSTA, L.M.; FERNANDES FILHO, E.I. Soil and vegetation carbon stocks in Brazilian Western Amazonia: relationships and ecological implications for natural landscapes. **Environmental Monitoring and Assessment**. 1-15, 2007.
- SCHAEFER, C.E.G.R.; MENDONÇA, B.A.F.de; FERNANDES FILHO, E.I. Geoambientes e Paisagens do Parque Nacional do Viruá – Roraima: esboço de integração da geomorfologia, climatologia, solos, hidrologia e ecologia. **Relatório Técnico/ICMBio**. 2009. 51p
- SILVEIRA, M. **Vegetação e Flora das Campinaranas do Sudoeste Amazônico**. S.O.S. Amazônia. Rio Branco, 2003. 26p.
- SIOLI, H. Principal Biotopes of Primary Production in the Water of Amazonia. R. Misra and B. Gopal (ed.). **Proc. Symp. Recent Adv. Trop. Ecol**. 1968. 591-600p.
- SOMBROEK, W.G. **Amazon Soils: a Reconnaissance of the Soils of the Brazilian Amazon Valley**. Pudoc, Wageningen, 1966. 292 p.
- VELOSO, H.P.; RANGEL FILHO, A.L.R.; LIMA, J.C.A. **Classificação da Vegetação Brasileira, adaptada a um Sistema Universal**. Rio de Janeiro. IBGE, 1991.

## CAPÍTULO II

### SOLOS E GEOAMBIENTES DO PARQUE NACIONAL DO VIRUÁ E ENTORNO, RORAIMA: *visão integrada da paisagem e serviço ambiental*

SOILS AND GEOENVIRONMENTS OF THE NATIONAL PARK OF VIRUÁ AND SURROUNDING, RORAIMA: *integrated vision of the landscape and environmental service*

#### RESUMO

O Parque Nacional (PARNA) do Viruá ocupa área de 227.011 ha, na região do baixo Rio Branco, Roraima. A região compreende um extenso mosaico de ambientes complexos inundáveis, florestais a não-florestais. Este trabalho teve como objetivo estudar os aspectos pedológicos e geoambientais do Parque e entorno, em uma visão integrada da paisagem e, além disso, estimar o estoque de carbono nos solos e geoambientes. Foram descritos e coletados 29 perfis de solos nas principais fitofisionomias de Campinaranas e Florestas do Parque e entorno, descritos a seguir: Espodossolo Humilúvico, Neossolo Quartzarênico, Neossolo Flúvico, Neossolo Litólicos, Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho, Cambissolo Háplico, Cambissolo Flúvico, Gleissolo Háplico e Plintossolo Háplico. Os solos apresentam distribuição espacial com limites claros e com forte associação entre as fitofisionomias. Foram agrupados em três pedoambientes: (1) solos arenosos das campinaranas, (2) solos associados aos *inselbergs* e adjacências e (3) solos aluviais. Foram mapeadas e descritas 18 unidades geoambientais no Parque. Os geoambientes predominantes no Parque são: Planícies Arenosas e Paleodunas com Campinarana Graminosa e Arbustiva em Neossolos Quartzarênicos e Espodossolos hidromórficos; e Planícies de Inundação e Terraços com Floresta de Igapó sobre solos hidromórficos arenosos, com 24,6% e 20,1% da área estudada, respectivamente. Em termos de estoque total de carbono nos solos, destacam-se os geoambientes dos complexos arenosos das Campinaranas e associações, com 9450,9 Gg C estimados para todo o Parque. A grande extensão e representatividade dos complexos arenosos das Campinaranas fazem do PARNA Viruá uma UC de proteção integral com forte vocação para preservação e conservação de sistemas arenícolas amazônicos. As áreas sob o domínio de Espodossolos possuem os maiores estoques de carbono orgânico e os complexos arenosos das Campinaranas e associações representam os geoambientes mais relevantes na prestação de serviços ambientais de conservação do carbono nos solos.

#### ABSTRACT

The Viruá National Park (PARNA Viruá) occupies an area 227.011 ha, in the low Branco river, Roraima. This area includes an extensive mosaic of complex seasonally flooded forested and no-forested environments. The present work had objective to characterize the pedological aspects and the geoenvironmental units of the Park and surroundings, in an integrated vision of the landscape and, additionally, estimate the carbon stocks in the soils and geoenvironments. We described and collected 29 soil profiles in the main vegetation types of Campinaranas and Forests of PARNA Viruá and surroundings, described to proceed: Espodossolo Humilúvico, Neossolo Quartzarênico, Neossolo Flúvico, Neossolo Litólicos, Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho, Cambissolo Háplico, Cambissolo Flúvico, Gleissolo Háplico and Plintossolo

Háplico. The soils present spatial distribution marked by clear limits and close association with the vegetation type. We identified three pedo-environments: (1) sandy soils of the Campinaranas; (2) soils associated with the inselbergs and adjacencies; and (3) alluvial soils. We mapped and described 18 geoenvironmental units in PARNA Viruá. The main geoenvironments are: i) Sandy plains and Paleodunes with grassy and arborous Campinarana on Neossolos Quartzarênicos and Espodossolos hidromórficos; and Floodplains and; ii) Terraces with *Igapó* Forest on sandy hidromorphic soils, occupying 24.6% and 20.1% of the studied area, respectively. In terms of total soil carbon stocks, the geoenvironments of the sandy complexes of Campinaranas and associations stand out, with 9450.9 Gg C. The great extension and representativeness of the sandy areas of Campinaranas characterize PARNA Viruá as an important conservation unit for the protection Amazonian sandy soil systems. The areas under the domain of Espodossolos possess the largest stocks of organic carbon and the sandy areas of Campinaranas and associations represent the most relevant geoenvironment in terms of environmental services and conservation of carbon in the soils.

**Palavras-chave:** Campinaranas; Amazônia; solos arenosos; estoque de carbono.

**Keywords:** Campinaranas; Amazônia; sandy soils; carbon stocks.

## INTRODUÇÃO

O Parque Nacional (PARNA) do Viruá, localiza-se na região do baixo Rio Branco em Roraima, ocupa cerca de 220.000 ha cobertos, em sua maior parte, pelo ecossistema de Campinaranas. Representa uma das mais extensas Unidades de Conservação (UC) de Proteção Integral com ocorrência desta tipologia vegetal no Brasil, revelando, ainda, uma extensa faixa de transição com ecossistemas florestados em seu limite nordeste. Isto confere uma enorme importância para a proteção de um grande mosaico de formações florestadas e abertas em um ambiente submetido à inundações periódicas.

Segundo Ab'Saber (2002), o baixo rio Branco e suas planícies coalescentes, onde está localizado o PARNA Viruá, constitui um ecossistema local de suportes ecológicos singulares, com a presença de campos de dunas, em uma região deprimida existente no espaço meridional de Roraima, um “psamo-bioma”. Do ponto de vista pedológico, a região compreende um grande domínio de Espodossolos e Neossolos Quartzarênicos. Alguns estudos realizados na Guiana Francesa e no Brasil têm mostrado que os Espodossolos podem ser formados pela transformação de uma cobertura latossólica inicial, sobre vários tipos de material de origem (LUCAS et al., 1984; ANDRADE, 1990; DUBROEUCQ et al., 1991), sendo o Espodossolo considerado como um estágio final de degradação das coberturas pedológicas tropicais (BOULET et al., 1984). Além disso, este processo poderia ser o principal mecanismo

responsável pelo aplainamento geral do terreno observado nesta região (MAFRA et al., 2002).

Predomina o relevo plano a suave ondulado em um sistema arenoso e na maior parte hidromórfico, desenvolvido de materiais de origem retrabalhados do Pré-Cambriano, os sedimentos fluvio-lacustre de idade Plio-Pleistocênica, da Formação Içá e, ainda, Coberturas Eólicas Holocênicas (BRASIL, 1975). A Formação Içá corresponderia, em sua maioria, a mantos arenosos profundos, formados por pedogênese *in situ* de sedimentos Cenozóicos ou rochas ígneas e metamórficas, como demonstram alguns estudos no Estado do Amazonas (ALTEMULLER e KLINGE, 1964; LUCAS et al., 1984; BRAVARD e RIGHI, 1990; ANDRADE et al. 1997). Neste sentido, as condições climáticas de elevada taxa de precipitação pluvial desta região contribuem diretamente para os processos de podzolização e arenização destes solos que, por sua vez, são associados à elevada lixiviação e consequente empobrecimento químico (SCHAEFER et al., 2007).

Dessa forma, os estudos pedológicos aliados às características geomorfológicas, geológicas e da cobertura vegetal permitiram a individualização de unidades geoambientais, com características ecogeográficas e problemas geoambientais próprios (TRICART e KIEWIETDEJONGE, 1992; SCHAEFER, 1997). Estas unidades constituem um referencial integrado a ser levado em consideração no processo de planejamento e monitoramento dos recursos naturais (SCHAEFER et al., 2000; SIMAS, 2002). Neste contexto, tendo em vista que o Parque Nacional do Viruá não possui informações relativas ao meio físico em escalas adequadas ao seu planejamento e monitoramento, este trabalho contribuiu com um estudo mais detalhado dos aspectos pedológicos e geoambientais como um subsídio ao Plano de Manejo do Parque. Com a integração dos dados gerados, estimou-se os estoques de carbono orgânico nos solos e geoambientes importante serviço ambiental associado às Campinaranas.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Área de estudo**

Localizado no centro-sul do Estado de Roraima, no município de Caracará, às margens da BR 174 (Figura 1), distante cerca de 190 km da capital Boa Vista, o PARNA do Viruá estende-se por um cenário bioclimático regional fortemente transicional na Amazônia. Na classificação de Köppen, o clima do setor sul do Parque é definido como Amw' (chuva do tipo monção), enquanto na porção nordeste do Parque é

Aw (verão úmido e inverno seco). De acordo com os dados da Agência Nacional de Águas (ANA, 2009), obtidos na estação meteorológica em Caracaraí, a série histórica de 30 anos de precipitação média anual revela uma variação de precipitação anual de 1.300 a 2.350 mm, com média de 1.794 mm.

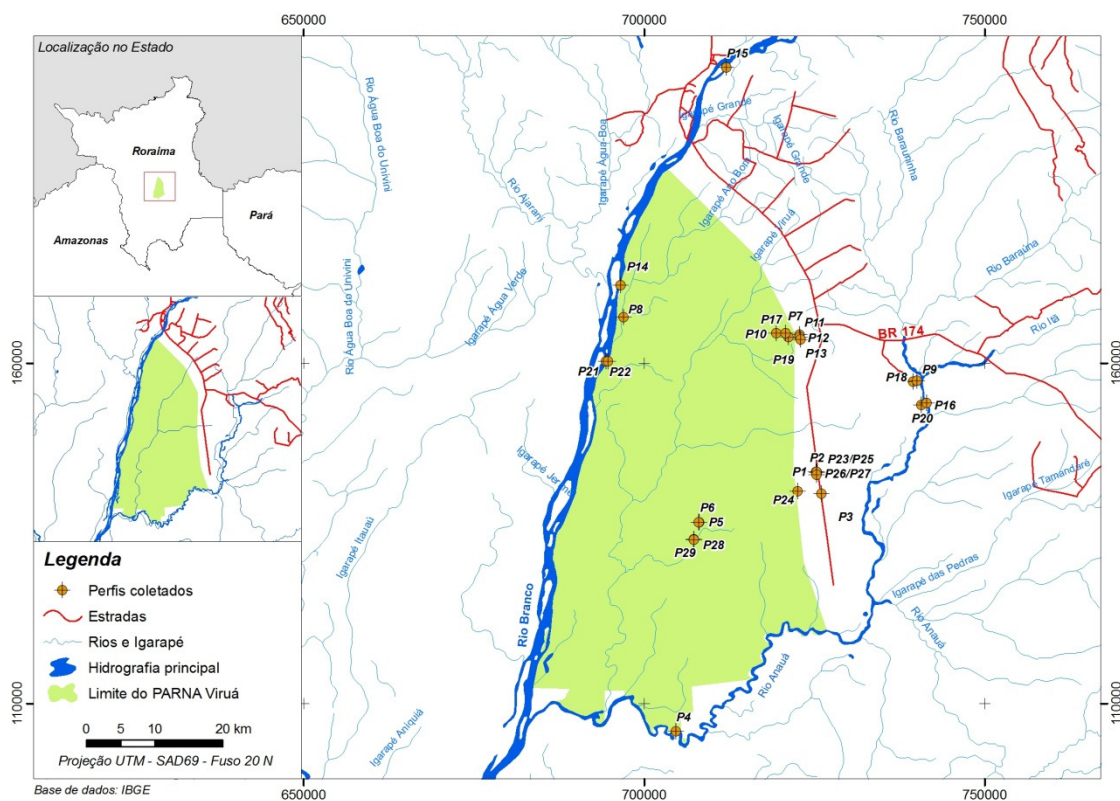


Figura 1 – Mapa de localização do PARNA do Viruá no Estado de Roraima, às margens da rodovia BR 174, e distribuição dos perfis de solos coletados no Parque e entorno.

A geologia é caracterizada principalmente por extensas coberturas arenosas de origem sedimentar fluvial, eólica ou pelo intemperismo, com a presença de rochas ígneas vulcânicas ou metamórficas em serras e residuais esparsos (BRASIL, 1975; CPRM, 2000). No PARNA do Viruá ocorrem feições diferenciadas por arenização, sendo no interflúvio rio Branco-rio Anauá a fase mais evoluída (BRASIL, 1975). A altitude média do Parque é de 46 m, em um relevo predominantemente plano. Os solos são arenosos e hidromórficos em sua maioria, das subordens dos Espodosolos Humilúvicos e Neossolos Quartzarênicos.

Predominam as Campinaranas, formações vegetais típicas das áreas de clima úmido e solos arenosos hidromórficos (VELOSO et al., 1991). Caracterizam-se por uma paisagem marcante, de exceção à Floresta Tropical envolvente. Essa vegetação é

fortemente influenciada pelos ciclos sazonais e pelas variações do lençol freático, em gradações fitofisionômicas associadas a diferentes níveis de hidromorfismo. Conforme aumenta o encharcamento dos solos, as Campinaranas Florestadas são substituídas por formações de Campinarara Arbórea e Arbustiva, passando pelas Gramíneo-Lenhosas até puramente herbáceas. Os residuais de núcleos de rochas resistentes em forma de pontões e *inselbergs*, e as rampas pedimentadas de uma superfície de aplainamento mais antiga, destacam-se salientes da topografia geral baixa e aplainada das áreas de acumulação, inclusive pela cobertura vegetal diferenciada, as Florestas Ombrófilas.

### **Coleta, preparo e análises das amostras de solo**

Foram coletados 29 perfis de solos nas principais fitofisionomias das Campinaranas e Florestas do PARNA do Viruá e entorno (Figura 1). A distribuição dos perfis foi representativa para todas as fitofisionomias do Parque. A descrição e amostragem dos perfis foram realizadas de acordo Santos et al. (2005). Todos os perfis de solos descritos e coletados foram classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006) até o 4º nível categórico. Após coletadas as amostras no campo, as mesmas foram levadas aos laboratórios do DPS-UFV, onde foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas em malha de 2 mm, visando obter amostras na forma de terra fina seca ao ar (TFSA), para serem submetidas à análises químicas e físicas de rotina, segundo Embrapa (1997).

### **Análises químicas**

O pH em água e em KCl 1 mol L<sup>-1</sup> foram determinados na suspensão solo:solução 1:2,5. As concentrações de cálcio, magnésio e o alumínio trocáveis foram extraídas com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, na proporção 1:20, e determinadas por espectrometria de absorção atômica. O potássio e sódio trocáveis foram extraídos com solução de Mehlich-1 e determinados por fotometria de chama. O fósforo foi extraído com solução de HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 mol L<sup>-1</sup> (Mehlich-1) e determinado por colorimetria na presença de ácido ascórbico (DEFELIPO e RIBEIRO, 1997). O ferro, zinco, manganês e cobre foram extraídos com solução Mehlich-1, e determinados por espectrometria de absorção atômica. A acidez potencial foi determinada por titulação com NaOH (0,025 mol L<sup>-1</sup>) da extração de acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> a pH 7,0. O Carbono Orgânico Total (COT) foi determinado pelo método de Yeomans e Bremner (1988), e a Matéria Orgânica (MO) calculada pela multiplicação do fator 1,724.

### **Análises físicas**

A granulometria foi determinada a partir da dispersão de 10 g de TFSA com NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> e agitação a 50 rpm durante 16 horas. Em seguida, as frações areia grossa e fina foram separadas por tamização em peneiras com malhas de 0,2 mm e 0,053 mm de abertura, respectivamente. A fração argila foi determinada pelo método da pipeta, e a fração silte calculada por diferença (RUIZ, 2005).

### **Unidades geoambientais**

Para a estratificação das unidades geoambientais, utilizou-se um método pedo-geomorfológico, estratificando as unidades e identificando as características ecogeográficas e problemas geoambientais associados (TRICART e KIEWIETDEJONGE, 1992; SCHAEFER, 1997), baseadas em características pedológicas, geomorfológicas e de vegetação. O delineamento das unidades foi realizado dentro da escala mais detalhada possível da base de 1:100.000 disponível, a partir da interpretação visual da imagem do satélite Landsat TM (bandas 3, 4 e 5), de setembro de 2007 e abril de 2008, imagens do radar SRTM e fotografias panorâmicas aéreas georreferenciadas, além de dados secundários do Projeto RADAMBRASIL (1975) e CPRM (2000). As fotos aéreas de visada lateral e georreferenciadas foram obtidas em três sobrevôos de helicóptero em 24/05/2006, 04/12/2006 e 28/10/2008, e permitiram detalhar e reconhecer as principais formas de vegetação do Parque e seus solos e geoambientes associados. Para o mapeamento das unidades geoambientais utilizou-se o *software* ArcGIS 9.3.

### **Estoque de Carbono no solo**

A partir da integração dos dados dos perfis de solos coletados e do mapeamento dos geoambientes foi estimado o estoque de carbono no solo para cada unidade geoambiental, considerando a porcentagem de ocorrência dos solos. O estoque relativo de C por perfil de solo  $EC_p$  (kg m<sup>-2</sup>) foi calculado para os horizontes A, B e C dos solos amostrados, multiplicando a concentração de carbono (dag kg<sup>-1</sup>), densidade aparente (DA) do solo (kg m<sup>-3</sup>) e espessura  $h$  (m) do horizonte. A serrapilheira não foi incluída no cálculo.

Para o cálculo da estimativa da densidade dos solos (DS), foram utilizadas equações multilíneas que relacionam teor de argila (TA), carbono orgânico (CO) e pH com densidade do solo, obtidas a partir de dados de solos representativos da bacia

Amazônica (BERNOUX, 1998; BERNOUX et al., 1998). Tais agrupamentos utilizam como base os seguintes critérios recomendados por Houghton *et al.* (1997) para inventários de carbono do solo: atividade de argila, saturação por bases e umidade do solo. No cálculo foram utilizados 30 perfis de solo: 29 coletados em trabalhos de campo e um Latossolo Amarelo de referência coletado pelo projeto RADAMBRASIL (1975), no alto rio Anauá.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Distribuição e Caracterização dos Solos do PARNA Viruá

Os solos são apresentados até o 2º nível categórico (subordem), em ordem decrescente de número de perfis, foram: Espodossolo Humilúvico (6), Neossolo Quartzarênico (5), Neossolo Flúvico (3), Latossolo Vermelho-Amarelo (2), Latossolo Vermelho (2), Cambissolo Háplico (5), Cambissolo Flúvico (3), Gleissolo Háplico (1) Plintossolo Háplico (1) e Neossolo Litólico (1) (Tabela 1). De certo modo, todas as subordens de solos estudadas apresentam distribuição espacial com limites bem nítidos e com forte associação entre as fitofisionomias (Figura 2). O controle edáfico sobre as diferentes tipologias vegetais na escala estudada permitiu o agrupamento dos principais solos em três pedoambientes (Tabela 1).

TABELA 1: Pedoambientes, grupo de solos, número de perfis de solo coletados e vegetação correspondente no PARNA Viruá e entorno, Roraima.

Pedoambientes	Grupos de solos	No. perfis de solo	Vegetação
Solos arenosos das Campinaranas	Espodossolos Humilúvicos	6	Campinaranas Florestadas, Arborizadas e Gramíneo Lenhosas
	Neossolos Quartzarênicos	5	Campinaranas Arborizadas e Gramíneo Lenhosas
Solos associados aos <i>inselbergs</i> e adjacências	Cambissolos Háplicos	5	Florestas Ombrófilas e Contato Florestas/Campinaranas
	Latossolos Vermelho e Vermelho-Amarelo	4	Florestas Ombrófilas Aberta e Densa
	Neossolo Litólico	1	
	Plintossolo	1	
	Gleissolo	1	Formações Pioneiras
Solos Aluviais	Solos Aluviais	6	Florestas de várzea e igapós
	<b>TOTAL</b>	<b>29</b>	

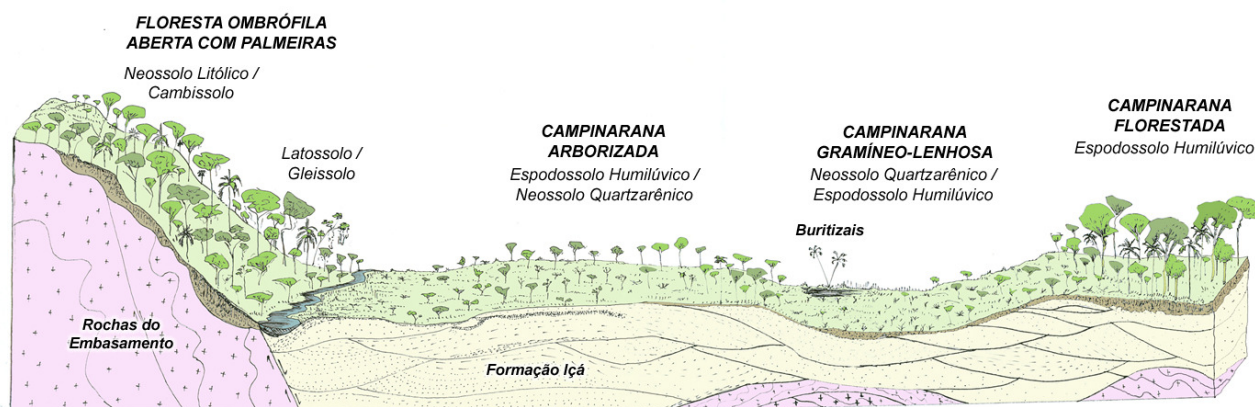


FIGURA 2: Paisagem representativa das formações complexas das Campinaranas, predominantes em grandes extensões do PARNA Viruá, e da Floresta Ombrófila Aberta; com as respectivas classes de solos e representações geomorfológicas e geológicas. (Ilustração: Carlos Schaefer; Edição: Bruno Mendonça).

### ***Solos arenosos das Campinaranas***

#### ***Espodossolos Humilúvicos***

Estes solos são predominantes na paisagem das Campinaranas do PARNA Viruá. Ocorrem de maneira generalizada em todas as fitofisionomias, desde as Campinaranas Florestadas até as Campinaranas Gramíneo-Lenhosas (Figuras 2). Entretanto, apresentam horizontes espódicos mais espessos, com variação de 10 a 100 cm de profundidade, e com teor de carbono orgânico maior nas Campinaranas Florestadas. Estas possuem solos mais ricos em matéria orgânica, presença de horizontes hísticos e com nível do lençol freático menos superficial que as fisionomias mais abertas (Arborizada e Gramíneo-Lenhosa); os horizontes O possuem cerca de 10 cm de profundidade, com cores bruno-avermelhado-escuras (2,5YR 2,5/3, úmido). Nas fisionomias arbóreo-arbustivas destacam-se o horizonte E, mais espesso (maior que 50 cm) e esbranquiçado, e o incremento de matéria orgânica (MO) em profundidade associado ao aumento de P-Mehlich e Capacidade de Troca Catiônica (CTC) (Tabela 2). As diferenciações destes solos, da mesma classe, principalmente quanto ao incremento de MO em subsuperfície, parecem estar condicionadas aos pequenos desníveis do terreno (plano), onde periodicamente, as variações do nível do lençol freático formam ambientes (micro-relevos) mais ou menos inundados em condições diferenciadas para o suporte da vegetação.

Nas áreas mais abertas, dominadas pelas Campinaranas Gramíneo-Lenhosas, ocorrem os campos de dunas fósseis (ou paleodunas) em áreas de maior exposição aos ventos, que em fases mais secas de períodos glaciais promoveram sua ativação e

atualmente permanecem estacionadas e parcialmente vegetadas (SANTOS e NELSON, 1995; CARNEIRO FILHO, et al., 2003). Nestas áreas, principalmente próximos aos agrupamentos arbustivos, ocorrem como inclusões Espodossolos Humilúvicos órticos, não hidromórficos, com notáveis evidências da podzolização lateral, em lamelas de espodização. Nas Campinaranas Gramíneo-Lenhosas predominam os Neossolos Quartzarênicos, em razão do menor aporte de MO dessa fitofisionomia, insuficiente para permitir o acúmulo em superfície e subsuperfície. Nas áreas de lagos interdunas predominam as formações de buritizais (Figura 2).

Os Espodossolos estudados são, no 3º nível categórico, Hidromórficos ou Órticos; os Hiperespessos, comumente chamados de “Espodossolos Gigantes”, com horizontes espódicos profundos, de 3 a 10 m (DUBROEUCQ e VOLKOFF, 1988; 1998), não foram amostrados, no entanto, sua ocorrência é esperada para a região. No 4º nível categórico são classificados como: *arênicos*, quando associados às Campinaranas Florestadas e Arborizadas presentes nos interflúvios; *espessarênicos*, nas dunas inativas com Campinarana Gramíneo-Lenhosa; ou *dúricos*, nas Campinaranas Arborizadas em contato com as drenagens principais. Estes solos são arenosos, com predomínio de areia fina em todas as fitofisionomias de sua ocorrência, seguido pela areia grossa, silte e argila (Tabela 2), o que sugere a origem eólica dessas formações, originárias do retrabalhamento da cobertura sedimentar arenosa dominante (Formação Içá) (BRASIL, 1975; SANTOS e NELSON, 1995; CPRM, 2000). Os solos das Campinaranas Florestadas diferenciam-se dos demais por apresentar menor conteúdo de areia grossa e maior de silte.

De maneira geral, são solos das Campinaranas são ácidos, pobres e distróficos, com pH entre 4 a 5,5, baixa soma de bases (SB) (média menor que  $0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) e saturação por bases (V) (média menor que 3%) (Tabela 2). Os horizontes espódicos possuem saturação por alumínio (m) média maior que 85% e rico em carbono orgânico, o que evidencia a formação dos complexos MO-Al (Tabela 2). Além disso, os horizontes (espódicos), em relação aos demais, apresentam pH mais básico, P-Mehlich maior e CTC mais elevada, o que revela a afinidade do P pelos compostos organometálicos presentes.

Nas Campinaranas Arbustivas destaca-se a presença generalizada de cupinzeiros de coloração escurecida na base de arbustos onde, apesar da elevada acidez, os teores de fósforo e a soma de bases são quase 10 vezes maiores que os horizontes minerais superficiais dos solos adjacentes (Tabela 2). O teor de argila, a CTC e a MO também

são superiores aos solos adjacentes e a saturação de Al (m) é menor (Tabela 2). Estes resultados evidenciam a importância dos térmitas na ciclagem de nutrientes, a qual também é reportada pela literatura (BLACK e OKWAKOL, 1997; SCHAEFER, 2001; SARCINELLI et al., 2009). O mesmo ocorre na Campinarana Gramíneo-Lenhosas, um ambiente pouco mais rebaixado, onde o lençol aflora com mais constância. Os termiteiros, nestas condições, além de disponibilizarem nutrientes, permitem a boa aeração do solo e favorecem a fixação das plantas nestes solos constantemente alagados. Essas observações revelam a notável relação entre os térmitas e a distribuição dos arbustos na paisagem do PARNA Viruá.

TABELA 2: Resultado da análise química e física com a média e o desvio padrão dos solos estudados no PARNA Viruá e entorno.

CAMADAS <sup>a</sup>	pH H <sub>2</sub> O	P	SB	T	V	m	MO	AG	AF	Silte	Argila
		mg dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	%	dag kg <sup>-1</sup>	dag kg <sup>-1</sup>	dag kg <sup>-1</sup>	dag kg <sup>-1</sup>	dag kg <sup>-1</sup>	dag kg <sup>-1</sup>	dag kg <sup>-1</sup>
<b>Espodosolos Humilúvicos – Campinaranas Florestadas, Arborizadas e Gramíneo Lenhosas</b>											
Superficial	4,4 ± 0,4	2,6 ± 1,6	0,3 ± 0,2	15,9 ± 10,6	2,4 ± 1,0	87,4 ± 5,0	7,4 ± 9,1	25,3 ± 4,8	47 ± 6,5	20,5 ± 5,6	7,3 ± 3,8
Eluvial	5,1 ± 0,4	1,5 ± 0,9	0,1 ± 0,1	4,0 ± 4,2	2,1 ± 1,8	89,2 ± 8,6	0,8 ± 1,2	31,6 ± 11	53,3 ± 11	12,3 ± 7,1	2,8 ± 2,1
Subsuperficial	5,1 ± 0,4	5,7 ± 11,7	0,1 ± 0,2	7,1 ± 6,3	2,9 ± 5,7	85,2 ± 23,1	1,2 ± 1,3	34 ± 16,8	46,0 ± 11,9	14 ± 10,2	6,0 ± 4,0
Termiteiros <sup>b</sup>	4,0 ± 0,4	24,1 ± 25,4	1,9 ± 1,8	53,5 ± 14	5,4 ± 6,9	68,7 ± 23,7	41,2 ± 15,9	33,5 ± 16	16,0 ± 7,7	29,8 ± 9,4	20,7 ± 4,1
<b>Neossolos Quartzarênicos – Campinaranas Arborizadas e Gramíneo Lenhosas</b>											
Superficial	4,6 ± 0,5	1,3 ± 0,6	0,1 ± 0,0	6,1 ± 8,7	2,2 ± 1,9	87,0 ± 10	2,6 ± 4,1	26,3 ± 12,2	49,8 ± 8,0	20,8 ± 17,9	3,0 ± 2,1
Eluvial	4,7 ± 0,4	0,4 ± 0,1	0,0	1,4 ± 0,0	2,1 ± 0,0	91,7 ± 3,7	0,1 ± 0,2	42,7 ± 0,6	48,0 ± 1,7	7,7 ± 2,1	1,7 ± 0,6
Subsuperficial	5,3 ± 0,3	0,7 ± 0,4	0,0	1,2 ± 0,4	1,5 ± 1,3	89,4 ± 11,7	0,1 ± 0,1	32,7 ± 6,7	48,0 ± 2,0	18,0 ± 7,2	1,3 ± 0,6
<b>Cambissolos Háplicos – Florestas Ombrófilas e Contato Florestas/Campinaranas</b>											
Superficial	3,9 ± 0,4	3,3 ± 0,7	1,2 ± 2,3	13,6 ± 4,4	9,3 ± 15,8	71,1 ± 33,6	6,7 ± 3,0	17,0 ± 9,4	18,2 ± 15	23,7 ± 5,3	41,5 ± 18,7
Subsuperficial	4,4 ± 0,3	1,3 ± 0,5	0,3 ± 0,6	6,3 ± 2,3	4,7 ± 7,5	83,0 ± 23,8	2,1 ± 1,1	21,3 ± 10,0	18,7 ± 13	25,0 ± 3,9	35,0 ± 18,5
<b>Latossolos Vermelho e Vermelho-Amarelos – Florestas Ombrófilas Aberta e Densa</b>											
Superficial	4,2 ± 0,6	2,7 ± 1,5	2,1 ± 3,0	10,1 ± 3,8	18,2 ± 21	52,9 ± 38,6	4,6 ± 2,1	16,5 ± 12	26,3 ± 5,9	17,8 ± 4,9	39,5 ± 15,2
Subsuperficial	4,7 ± 0,6	0,6 ± 0,4	0,5 ± 0,5	5,8 ± 2,3	9,6 ± 8,4	58,4 ± 42,1	1,7 ± 0,7	10,8 ± 8,7	22,8 ± 11	16,0 ± 4,8	50,4 ± 19,7
<b>Solos Aluviais – Florestas de várzea e igapós</b>											
Superficial	4,5 ± 0,4	5,1 ± 4,4	1,2 ± 0,5	6,9 ± 2,5	18,4 ± 10,1	44,1 ± 23,9	3,0 ± 1,8	1,5 ± 1,5	55 ± 30,1	23,5 ± 18,5	20,2 ± 13
Subsuperficial	4,7 ± 0,4	1,2 ± 1,2	0,3 ± 0,2	4,9 ± 1,9	8,5 ± 8,5	80,9 ± 19,5	0,7 ± 0,6	1,9 ± 2,5	44 ± 34,2	24,0 ± 14,6	30,2 ± 22

<sup>a</sup> São apresentadas as médias ponderadas pela espessura dos respectivos horizontes. A camada superficial representa os horizontes A e/ou AB; a camada eluvial os horizontes E e/ou A2; a camada subsuperficial os horizontes B e/ou C (somente para os Neossolos Quartzarênicos).

<sup>b</sup> Os dados correspondem à média de três amostras de termiteiros coletados no entorno dos perfis.

### Neossolos Quartzarênicos

Em média, estes solos possuem características químicas semelhantes aos Espodosolos da região, são ácidos, pobres e distróficos. O pH varia de 4,1 a 5,6, a SB média menor que 0,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e V% médio menor que 2,2 % (Tabela 2). São solos arenosos, com predomínio de areia fina, seguido pela areia grossa, silte e argila (Tabela 2). Estes solos possuem camadas superficiais pobres em MO, com média menor que 2,6 dag kg<sup>-1</sup> (Tabela 2), com horizontes A moderados. A CTC média em todos os horizontes é associada aos teores médios de MO e evidencia a importância da ciclagem de nutrientes para a vegetação nestes solos quase ausentes em argila (Tabela 2). Tais

características mostram o oligotrofismo típico destes ambientes, onde a vegetação apresenta-se aberta e com porte reduzido (Figuras 2) em razão da escassez de nutrientes.

Os Neossolos Quartzarênicos estudados são hidromórficos com caráter espódico no 4º nível categórico ou não se enquadram nas outras classes (com horizonte H hístico ou plúntico) e são classificados como típicos. O caráter espódico ocorre nas Campinaranas Gramíneo-Lenhosas, um ambiente predominantemente depressional, onde a biomassa vegetal é reduzida e o aporte de matéria orgânica em superfície e subsuperfície são baixos. De maneira geral é um ambiente de clímax edáfico e com vegetação escleromórfica, adaptada a tolerar extremos de excessos e falta de água.

Todos os horizontes dos perfis são arenosos e sem estrutura (grãos simples). Os Neossolos Quartzarênicos, principalmente nas áreas dominadas pelas Campinaranas Gramíneo-Lenhosas, apresentam restrição de drenagem na superfície dos solos, possivelmente associada ao elevado teor médio de silte (Tabela 2); observado após chuvas de curta duração durante a estação seca. Essas condições de drenagem deficiente são relacionadas à predominância da vegetação graminóide.

A vegetação aberta ocorre em áreas bastante amplas e de grandes extensões no PARNA Viruá e entorno. Estes ambientes apresentam-se muito pobres em recursos mantenedores ou atrativos de subsistência para a sedentarização humana nesta região (SIOLI e KLINGE, 1962; SCHAEFER e EDEN, 1995). Trata-se de solos não aptos ao aproveitamento agrícola, mais apropriado a preservação da fauna e flora, como já são destinados no PARNA do Viruá. A região de entorno a leste do Parque pertence ao INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária) e nunca foi ocupada (ICMBio, 2009) em razão da baixa capacidade de suporte para a agricultura.

### ***Solos associados aos inselbergs e adjacências***

Os *inselbergs* são elevações que se destacam de seu entorno aplainado e caracterizam-se como relevos residuais. No PARNA Viruá, em meio ao relevo baixo e inundado, destacam-se dois importantes relevos residuais pontuais, conhecidos como Serra da Perdida, formado a partir de rochas vulcânicas ácidas do Grupo Iricoumé, e a Serra do Preto, com gnaisse da Suíte Metamórfica Rio Urubu (CPRM, 2000). A paisagem florestada com relevo que varia de montanhoso a suave ondulado contrasta com a parte baixa e aplainada, dominada pelas Campinaranas. Nesse relevo residual predominam Cambissolos Háplicos e Latossolos Vermelho-Amarelos e algumas áreas com Neossolos Litólicos e solos concrecionários lateríticos e hidromórficos. Em

contraste com os solos das Campinaranas, estes solos são argilosos a muito argilosos (Tabela 2), provenientes de rochas vulcânicas ácidas e gnaisses; o suficiente para suportar uma vegetação florestal exuberante, mapeada pelo Projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1975) como Área de Tensão Ecológica de Floresta Aberta, favorecida também pelos aspectos climáticos transicionais. Ocorrem ainda pequenas manchas de Florestas Densas.

Os Latossolos Vermelho-Amarelos (LVA) e Vermelhos (LV) são quimicamente pobres, com valores médios de SB de  $2,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e V% de 18,2% em superfície, e originários do intemperismo das rochas Pré-Cambrianas (Grupo Iricoumé e Suíte Metamórfica do Rio Urubu), entretanto, com variações de fertilidade, indicadas pelos desvios padrões mais elevados para saturação de bases e saturação por alumínio (Tabela 2). Os LV são relacionados com porções mais máficas do material de origem, nos arredores da Serra da Perdida, e por isso são solos de maior fertilidade natural. Os LVAs são mais ácidos, menos férteis e menos argilosos que os LVs, por estarem associados à natureza dos materiais de origem mais alcalino (Grupo Iricoumé). No entanto, ambos ocorrem em relevo suave ondulado nas rampas, colinas, encostas e/ou superfícies pediplanadas e possuem concreções ferruginosas pontuais em degradação. A degradação da canga ferruginosa nestes ambientes tipicamente úmidos são indicações das oscilações climáticas que ocorreram no Pleistoceno e relacionam-se com a gênese desses solos.

Nas serras baixas e *inselbergs*, onde o declive é mais acentuado, ocorrem os Cambissolos Háplicos em associação com os Neossolos Litólicos e frequentes afloramentos rochosos. Os Cambissolos coletados possuem até 60 cm de profundidade de horizonte Bi (incipiente), são ácidos, com pH médio de 3,9; muito distróficos, com média de 9% de saturação por bases; com SB média  $1,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ; e argilosos, com valor médio de  $41,5 \text{ dag kg}^{-1}$  de argila (Tabela 2). Na Serra da Perdida, o material de origem é constituído por dacitos e rochas alcalinas, de origem vulcânica do Grupo Iricoumé (CPRM, 2000), e corrobora com a natureza pobre e ácida dos solos (Tabela 2). Na Serra do Preto, os solos são ainda mais pobres quimicamente e são franco-argilosos, também em razão da natureza mais ácida do material de origem. Foram coletados cinco perfis de Cambissolos Háplicos, dentre eles, apenas um encontra-se no ambiente de transição Floresta/Campinarana, no entorno da Serra da Perdida, sendo portanto, um solo mais arenoso, o que explica o desvio padrão alto da argila indicado na Tabela 2. Os outros foram amostrados em duas topossequências. Em ambas observou-se um aumento

no conteúdo de MO com o aumento da altitude (desnível médio de 250 metros), provavelmente associado às temperaturas mais baixas, à menor atividade biológica e consequente taxas menores decomposição da MO.

Próximo às drenagens situadas nos arredores das serras, onde são comuns as oscilações do lençol freático, destacam-se os solos com características típicas de processos de oxirredução. A natureza argilosa destes solos, com segregação de ferro, e a localização nas áreas mais rebaixadas, somadas a precipitação elevada da região, favorecem a gênese de mosqueados e gleização. Foram amostrados apenas dois perfis representativos desses solos: PLINTOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico e GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico. Assim como os outros solos de ocorrência nas adjacências da serra, estes solos também são ácidos, possuem SB baixa ( $\leq 0,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) e são argilosos.

### *Solos Aluviais*

De modo geral, são solos que possuem sequência errática de textura, com variação desde arenosa a muito argilosa, em camadas estratificadas, sem relação pedogenética entre si; as quais são observadas pelo desvio padrão alto na análise granulométrica (Tabela 2). Foram descritos e coletados seis perfis de Neossolos Flúvicos (3) e Cambissolos Flúvicos (3), coletados nas margens do Rio Branco e do Rio Barauana. São áreas inundáveis com periodicidade, denominadas de várzeas ou igapós, a depender das características fitossociológicas da vegetação e dos sedimentos transportados pelos rios (SIOLI e KLINGE, 1962). Os solos são pobres, com SB média  $1,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , e com V% médio de 18,4% (Tabela 2).

Nas margens do rio Branco ocorrem formações inundáveis denominadas de florestas de várzea, associadas a tabuleiros e terraços baixos, holocênicos, com solos hidromórficos sazonais. No rio Barauana, a área inundável apresenta largura variável, que acompanha lateralmente as sinuosidades da planície fluvial, estabelecendo fácies de transição, com florestas de várzeas e de igapós. Estes solos são pouco mais férteis que os solos estudados no Rio Branco.

Estes solos estão dentre os mais férteis da região (Tabelas 2), pois recebem sedimentos depositados pelos rios periodicamente. Apesar disso, apresentam, em sua maioria, aptidão agrícola restrita para culturas de ciclo curto e inaptas para culturas de ciclo longo; no Barauana, são inclusive, inaptos para uso agrícola e pastoreio extensivo (BRASIL, 1975).

## **Unidades Geoambientais e Estoque de Carbono no Solo**

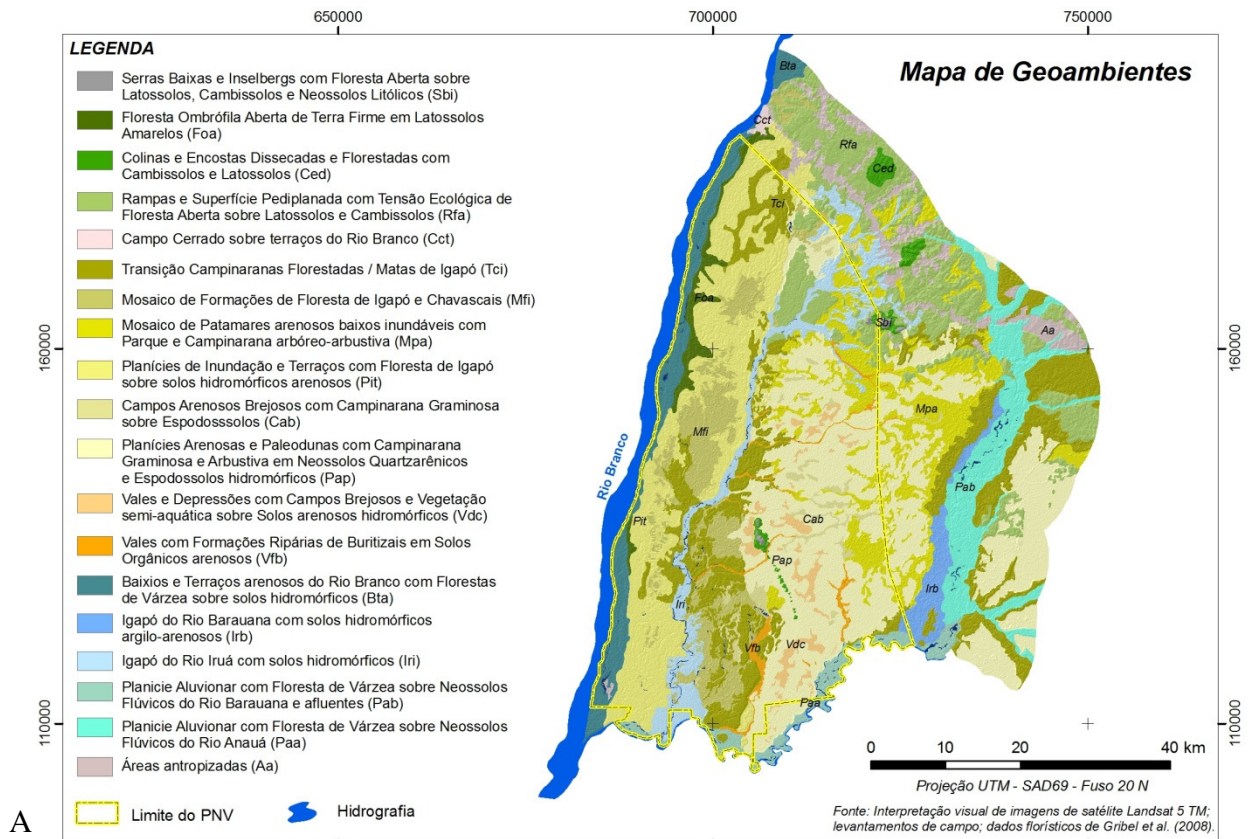
A partir das características geomorfológicas, da cobertura vegetal e dos solos, foram individualizadas 18 unidades geoambientais no Parque Nacional do Viruá e entorno (Tabela 3). Cada geoambiente é associado a uma unidade de mapeamento dos solos, representada pelos solos predominantes e suas respectivas associações e, assim como os solos, os geoambientes foram agrupados de acordo com características de destaque e aspectos geomorfológicos (Tabela 3). O mapa com as unidades geoambientais do Parque e entorno é apresentado na Figura 3.

Os geoambientes predominantes no Parque são: Pap, Pit, Tci e Mfi; com 24,6%, 20,1%, 12,6% e 10,6%, respectivamente (Tabela 3). Tais ambientes são constantemente inundados e possuem vegetação típica adaptada a essas características, as Campinaranas e as Florestas de Igapó. Os solos são arenosos, com destaque para os Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos e os Espodosolos Humilúvicos Hidromórficos, originários das coberturas Holocênicas retrabalhadas pelos ventos.

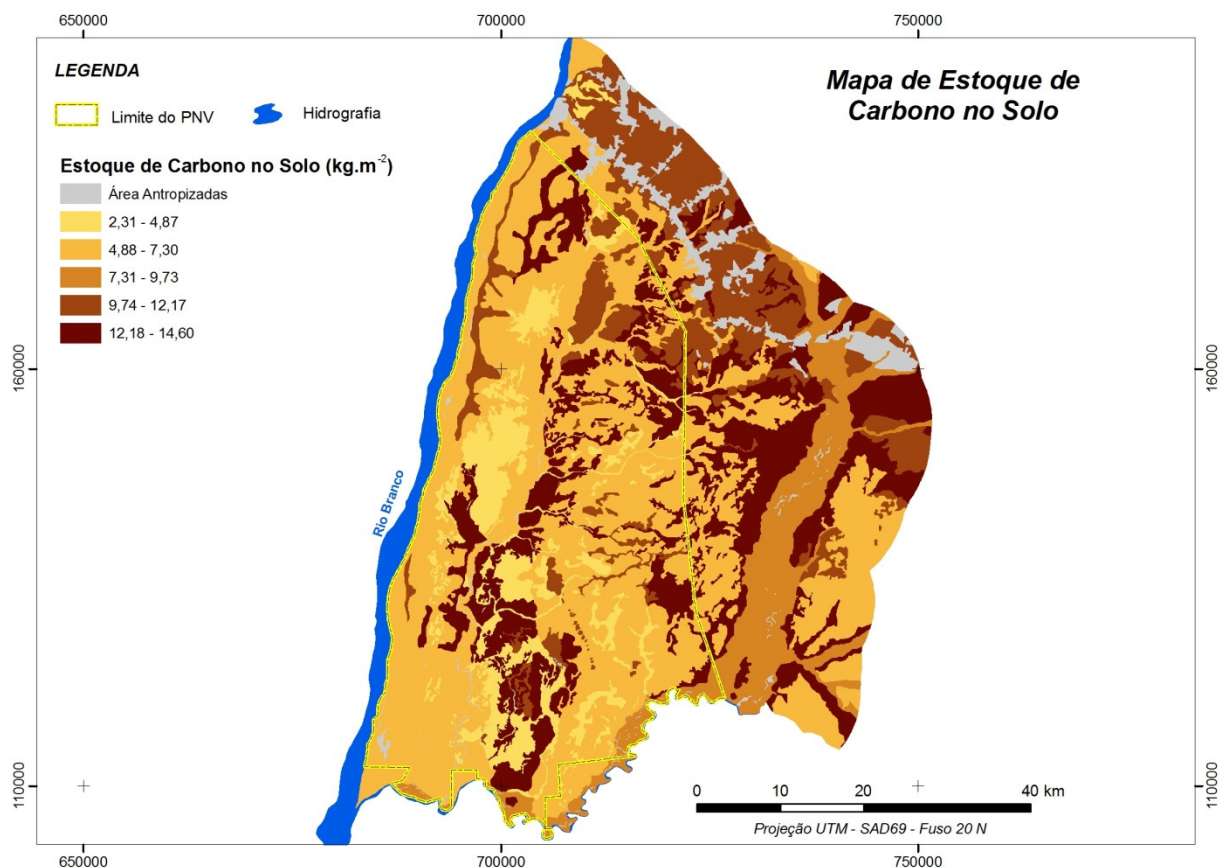
Em termos de estoque total de carbono nos solos no Parque, destacam-se os Complexos arenosos das Campinaranas e associações, com 9450,9 Gg C (Tabela 3 e Figura 3). Apesar do porte reduzido dessas formações vegetais, de baixa biomassa aérea, esses geoambientes apresentam grande importância para a conservação do carbono no solo e no ambiente. A natureza quartzosa dos solos em associação com as características geomorfológicas configura um ambiente de baixa fertilidade, ácido e sob inundações periódicas, onde a vegetação é naturalmente condicionada por restrições severas. Nestas áreas, há restrições para a atividade microbiológica do solo, tanto pelas condições de falta de oxigênio dos ambientes alagados, como pela quase ausência de nutrientes, decomposição lenta matéria orgânica, ou ainda, a presença de materiais vegetais mais recalcitrantes. Assim, mesmo nas condições climáticas atuais (clima tropical chuvoso) favoráveis à decomposição da matéria orgânica, esses ambientes armazenam mais carbono nos solos, quando comparados com as áreas de domínio florestal, em solos mais argilosos. No entanto, com a quase ausência de argila nos solos, parte da matéria orgânica é lixiviada para o lençol freático e levada para as drenagens, as quais, por estas razões, são denominadas de águas pretas (SIOLI e KLINGE, 1962).

TABELA 3: Estoque de carbono (kg m<sup>-2</sup> e Gg C) e área (ha e %) dos geoambientes do PARNA do Viruá (RR).

LEGENDA	GEOAMBIENTES	ESTOQUE DE C		ÁREA	
		kg m <sup>-2</sup>	Gg C	ha	%
<b>Geoambientes associados aos inselbergs e adjacências</b>					
Ced	Colinas e Encostas Dissecadas e Florestadas com Cambissolos e Latossolos	10,1	74,0	732,2	0,3
Sbi	Serras Baixas e Inselbergs com Floresta Aberta sobre Latossolos, Cambissolos e Neossolos Litólicos	10,7	29,1	271,8	0,1
Foa	Floresta Ombrófila Aberta de Terra Firme em Latossolos Amarelos	11,0	468,2	4.256,2	2,0
Rfa	Rampas e Superfície Pediplanada com Tensão Ecológica de Floresta Aberta sobre Latossolos e Cambissolos	11,0	747,8	6.797,8	3,1
<b>Total</b>		<b>42,7</b>	<b>1.319,0</b>	<b>12.058,1</b>	<b>5,5</b>
<b>Complexos arenosos das Campinaranas e associações</b>					
Cab	Campos Arenosos Brejosos com Campinarana Graminosa sobre Espodossolos	10,3	478,8	4.648,9	2,1
Mpa	Mosaico de Patamares arenosos baixos inundáveis com Parque e Campinarana arbóreo-arbustiva	14,6	1.872,9	12.828,0	5,9
Pap	Planícies Arenosas e Paleodunas com Campinarana Graminosa e Arbustiva em Neossolos Quartzarênicos e Espodossolos hidromórficos	5,0	2.661,9	53.237,3	24,6
Tci	Transição Campinaranas Florestadas / Matas de Igapó	13,4	3.658,1	27.299,1	12,6
Vfb	Vales com Formações Ripárias de Buritizais em Solos Orgânicos arenosos	2,4	79,2	3.301,7	1,5
Vdc	Vales e Depressões com Campos Brejosos e Vegetação semi-aquática sobre Solos arenosos hidromórficos	2,4	121,5	5.060,7	2,3
Mfi	Mosaico de Formações de Floresta de Igapó e Chavascais	2,6	578,6	22.252,2	10,3
<b>Total</b>		<b>50,9</b>	<b>9.450,9</b>	<b>128.628,0</b>	<b>59,3</b>
<b>Geoambientes de origem fluvial</b>					
Bta	Baixios e Terraços arenosos do Rio Branco com Florestas de Várzea sobre solos hidromórficos	7,1	946,0	13.323,4	6,2
Irb	Igapó do Rio Barauana com solos hidromórficos argilo-arenosos	8,7	20,4	234,8	0,1
Pit	Planícies de Inundação e Terraços com Floresta de Igapó sobre solos hidromórficos arenosos	6,6	2.866,1	43.425,9	20,1
Paa	Planície Aluvionar com Floresta de Várzea sobre Neossolos Flúvicos do Rio Anauá	8,7	376,3	4.325,5	2,0
Iri	Igapó do Rio Iruá com solos hidromórficos	7,0	929,3	13.275,8	6,1
<b>Total</b>		<b>38,1</b>	<b>5.138,1</b>	<b>74.585,0</b>	<b>35,0</b>



A



B

FIGURA 3: Mapas de unidades geoambientais (A) e estoque de carbono no solo (B) do PARNA Viruá e entorno.

As Campinaranas Florestadas possuem horizontes O com cerca de 10 cm de profundidade, não incluídos nos cálculos de estoque de C do solo, o que reforça ainda mais a importância destes ambientes na ciclagem do carbono. Nestas áreas ocorrem ESPODOSSOLOS HUMILÚVICOS Hidromórficos arênicos. Entretanto, estes solos possuem diferenças morfológicas de cor e maior estoque de matéria orgânica em subsuperfície quando comparados com os mesmos solos encontrados nas Campinaranas Arbustivas e Gramíneo-Lenhosas, localizados a poucos metros de distância um do outro. Essas considerações foram relevantes para o cálculo das estimativas de estoque de carbono em cada unidade geoambiental apresentado na Tabela 3.

Em média, no PARNA Viruá os estoques de carbono orgânico nos Espodossolos são de 17,55 kg m<sup>-2</sup>; para Cerri et al. (1996) o conteúdo médio de carbono em até 100 cm nestes solos é de 18,53 kg m<sup>-2</sup>; e para Batjes e Dijkshoorn (1999) o conteúdo médio de carbono orgânico é 13,32 kg m<sup>-2</sup>. Estes trabalhos (CERRI et al., 1996; BATJES e DIJKSHOORN, 1999) reportam para os Espodossolos um dos maiores estoques de carbono orgânico dentre os solos predominantes da região amazônica. De acordo com Bernoux et al. (2002), as áreas com maior estoque de carbono orgânico nos solos na Amazônia corresponde àquelas sob domínio de solos arenosos, na bacia do Rio Negro.

Os Neossolos Quartzarênicos apresentaram os menores estoques de C no PARNA do Viruá, com 2,5 kg m<sup>-2</sup>. De acordo com Cerri et al. (1996), o conteúdo médio de carbono orgânico nestes solos para a Amazônia é de 9,4 kg m<sup>-2</sup>; para Batjes e Dijkshoorn (1999) o conteúdo médio de carbono orgânico até 100 cm é 4,01 kg m<sup>-2</sup>.

Os geombientes associados aos inselbergs e adjacências possuem os estoques totais de C no solo mais baixos do PARNA Viruá, com 1319,0 Gg C, em razão da menor extensão dos geoambientes (Tabela 3). Entretanto, mesmo com aporte menor de matéria orgânica em superfície, comparados com os solos das Campinaranas, estes solos também apresentam importantes estoques de C em subsuperfície em uma distribuição pouco mais homogênea (Tabela 2), muitas vezes, em razão da atividade da meso e macrofauna, com destaque para os térmitas (SCHAEFER, 2001).

Para os geoambientes de origem fluvial, destacam-se os geoambientes relacionados aos rios Barauana e Anauá com maior estoque de C no solo, 8,7 kg m<sup>-2</sup>: Irb, com pequena representatividade no Parque, apenas em sua porção sudeste; e Paa, na região sul (Tabela 3 e Figura 3).

Em termos de estoque total na área do PARNA Viruá destacam-se em ordem decrescente os seguintes geoambientes: Tci com 3658,1 Gg C; Pit com 2866,1 Gg C ha<sup>-1</sup>

<sup>1</sup>; Pap com 2661,9 Gg C ha<sup>-1</sup>; e Mpa com 1872,9 Gg C ha<sup>-1</sup>. São notáveis os geoambientes associados aos solos arenosos e hidromórficos, os quais variam desde Neossolos Quartzarênicos e Espodossolos até Neossolos e Cambissolos Flúvicos. Além de exportarem os compostos orgânicos para os cursos d'água, dando a coloração dos rios de águas pretas, estes solos sequestram grande parte do C incorporado pela vegetação.

## CONCLUSÕES

1) A ampla diversidade de ambientes do Parque Nacional do Viruá e entorno é representada pela definição de 18 geoambientes. A grande extensão e representatividade dos complexos arenosos das Campinaranas identificados no mapeamento fazem do PARNA Viruá uma UC de proteção integral com forte vocação para preservação e conservação de sistemas arenícolas amazônicos.

2) Todos os solos estudados apresentam baixa fertilidade e variações texturais, determinadas pela natureza dos materiais de origem. Pequenas variações da fertilidade também são explicadas pelas características geomorfológicas, como por exemplo, a altimetria, a proximidade das drenagens e as áreas de acumulações.

3) A granulometria dos solos condiciona a ocorrência da cobertura vegetal com fitofisionomias distintas, a saber, campinaranas e florestas. O predomínio da fração areia fina nos solos das campinaranas e os estudos geológicos precedentes, sugerem a origem eólica desses sedimentos. As florestas são associadas aos solos argilosos ou argilo-arenosos e possuem caráter transicional com as campinaranas e as diferentes fácies de floresta aberta e densa.

4) No Parque Nacional do Viruá, as áreas sob o domínio de Espodossolos possuem os maiores estoques de carbono orgânico e, portanto, estes solos são extremamente importantes nas análises de sequestro e emissão de carbono.

5) Os complexos arenosos das Campinaranas e associações, por sua extensão e estoques de carbono, representam os geoambientes mais relevantes na prestação de serviços ambientais de conservação do carbono nos solos do PARNA Viruá, mesmo considerando as perdas naturais para os cursos d'água.

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Áreas Protegidas da Amazônia (Programa ARPA), ao ICMBio (Roraima), à equipe do Parque Nacional do Viruá e ao CNPq pelo apoio e financiamento deste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A.N. Bases para o estudo dos ecossistemas da Amazônia brasileira. **Estudos Avançados**. 16 (45), 2002.
- ALTEMULLER, H.J; KLINGE, H. Micromorphological investigation on development of podzol in Amazon basin. Plön, Max Plank Institute of Limnology. **Soil Micromorphology**, 295-305 p. 1964.
- ANA, Agência Nacional de Águas. Sistemas de Informações Hidrológicas. **Estação meteorológica de Caracaraí**. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>> Acesso em 5 de maio de 2009.
- ANDRADE, H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; DEMATTÊ, J. L. I.; ANDRADE, F. V. Pedogeomorfologia e micropedologia de uma seqüência de Latossolo – Areia Quartzosa Hidromórfica sobre rochas cristalinas do Estado do Amazonas. **Genomos**. Belo Horizonte, 5(1): 55-66. 1997.
- ANDRADE, H. **Evolução de uma seqüência de solos argilosos até arenosos no Complexo Guianense da Amazônia**. 1990. 179p. (Tese de Doutorado) - Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”
- BATJES, N.H.; DIJKSHOORN, J.A. Carbon and nitrogen stocks in the soils of the Amazon Region. **Geoderma**, 89, 273–286 p. 1999.
- BERNOUX, M. **Conteúdo de carbono dos solos da Amazônia ocidental e mudanças decorrentes da conversão da floresta em pastagens**. 1998, 98 p. Piracicaba. (Tese de Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.
- BERNOUX, M.; ARROUAYS, D.; CERRI, C.; VOLKOFF, B.; JOLIVET, C. Bulk densities of Brazilian Amazon soils related to other soil properties. **Soil Science Society of America Journal**, 62(3), 743–749. 1998.
- BERNOUX, M.; Carvalho, M. da C. S., Volkoff, B.; Cerri, C. C. Brazil's Soil Carbon Stocks. **Soil Science Society of America Journal**, 66:888–896. 2002.
- BLACK, H.I.J.; OKWAKOL, M.J.N. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the tropics: the role of termites. **Applied Soil Ecology** 6 37-53. 1997.
- BOULET R., CHAUVEL A., LUCAS, Y., Les systems de transformation en pédologie. **AFES**, Livre Jubilaire du Cinquantenaire, Plaisir, France, p.167-179. 1984.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL - Levantamento dos Recursos Naturais. **Folha NA. 20 Boa Vista e parte das Folhas NA -21 Tumuquaque, NB – 20 Roraima e NB – 21**, Rio de Janeiro, v.8, 428 p. 1975.

BRAVARD, S.; RIGHI, D. Micromorphology of an Oxisol-Spodosol catena in Amazonia. In: L. A. Douglas **Soil Micromorphology: a basic and applied science**. Developments in Soil Science 19, Elsevier, Amsterdã. p 169-174. 1990.

CARNEIRO FILHO A., TATUMI S.H., YEE M. Dunas Fósseis na Amazônia. **Ciência Hoje-SBPC**, 191:24-29. 2003.

CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; VOLKOFF, B.; MORAES, J.L. Dinâmica do carbono nos solos da Amazônia. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F. e FONTES, M.P.F. **Os solos nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.61-69. 1996.

CPRM, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Projeto de Mapeamento Geológico / Metalogenético Sistemático Caracaráí**, Folhas NA.20-Z-B e NA.20-Z-D inteiras e parte das folhas NA.20-Z-A, NA.20-Z-C, NA.21-Y-C e NA.21-Y-A. Estado de Roraima. Escala 1:500.000. Brasília: 2000.

DEFELIPO, B.V.; RIBEIRO, A.C. **Análise Química do Solo**. 2ª ed. Viçosa, MG. UFV, 1997.26p. (Boletim de extensão, 29)

DUBROEUCQ, D.; VOLKOFF, B. Évolution des couvertures pédologiques sableuses à podzols géants d'Amazonie (Bassin du Haut rio Negro). **Cah. ORSTOM**, sér. Pedol., vol. XXIV, no 3, 191-214. 1988.

DUBROEUCQ, D.; VOLKOFF, B. From Oxisols to Spodosols and Histosols: evolution of the soil mantles in the rio Negro basin (Amazonia). **Catena**, 32:245-280, 1998.

DUBROEUCQ, D.; VOLKOFF, B.; PEDRO, G. La couverture pédologique du bouclier du nord de l'Amazonie (bassin du Haut rio Negro). Séquence évolutive des sols et son role dans l'aplanissement généralisé des zones tropicales perhumides. **C. R. Acad. Sci.**, Sér. II, 312:663-671, 1991.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2ª. Ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 2006.

HOUGHTON, J. T., MEIRA FILHO, L. G., LIM, B., TREANTON, K., MAMATY, I., BONDUKI, Y., et al. **Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**: Reference manual. London: IPCC/OECD/IEA. 1997.

ICMBio. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Relatório Plurianual 2005-2008**. Programa de Pesquisa e Monitoramento do Parque Nacional do Viruá. Caracaraí, RR. 37p. Set. 2009.

LUCAS Y.; CHAUVEL A.; BOULET R.; RANZANI G.; SCATOLINI F. Transição Latossolos-podzóis sobre a formação Barreiras na região de Manaus, Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 8:325-335, 1984.

MAFRA, A.L.; MIKLÓS A. A. W.; VOLKOFF, B.; MELFI, A. J. Pedogênese numa seqüência Latossolo-Espodossolo na região do alto rio Negro, Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:381-394, 2002.

RUIZ, H.A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29. p.297-300. 2005.

SANTOS, J.O.S; NELSON, B.W. 1995. Os campos de dunas do Pantanal Setentrional. In: Congresso Latino-Americano, 8, Caracas, 1995. **Temário 4**. Caracas, Venezuela. 9 p.

SANTOS, R. D., LEMOS, R.C., SANTOS, H. G. dos, KER, J. C., ANJOS, L. H. C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5ª. edição (revisada e ampliada) Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 2005.

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

SCHAEFER C. E. G. R.; AMARAL, E. F. do; MENDONÇA, B. A. F. de; OLIVEIRA; H.; LANI, J. L.; COSTA, L. M.; FERNANDES FILHO, E. I. Soil and vegetation carbon stocks in Brazilian Western Amazonia: relationships and ecological implications for natural landscapes. **Environ Monit Assess**. v. 2007, p. 1-15, 2007

SCHAEFER, C. E. G. R. Ecogeography and human scenario in northeast Roraima, Brazil. **Ciência e Cultura Journal of the Brazilian Association for the Advancement of Science**. 49(4):241-252. 1997.

SCHAEFER, C.E.G.R.; EDEN, M. Os solos e os povos indígenas de Roraima: um ensaio de ecologia humana. In: XXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Viçosa, 1995. **Anais...** Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 1494-1496. 1995.

SCHAEFER, C. E. G. R.; ALBUQUERQUE, M. A.; CHARMELLO, L. L.; CAMPOS, J. C. F.; SIMAS, F. N. B. Elementos da Paisagem e a Gestão da Qualidade Ambiental. **Informe Agropecuário**, v. 21, jan/fev. 2000.

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

SIMAS, F. N. B. ; SCHAEFER, C. E. G. R. ; FERNANDES FILHO, E. I. ; CHAGAS, A. C. ; BRANDÃO, P. C. Chemistry, mineralogy and micropedology of highland soils on crystalline rocks of the Serra da Mantiqueira, southeastern Brazil. **Geoderma** (Amsterdam), v. 125, p. 187-201, 2005.

SIOLI, H., KLINGE, H. Solos, tipos de vegetação e águas da Amazônia. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Nova Série. Avulsa (separata) no. 1. 1962. 41p.

TRICART, J.; KIEWITDEJONGE, C. **Ecogeography and rural management**. Harlow: Longman Scientific, 1992.

VELOSO H. P., RANGEL FILHO, A. L.; ALVES LIMA. **Classificação da Vegetação Brasileira, adaptada a um Sistema Universal**. Ministério da Economia, Fazenda e Planejamento. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE. Diretoria de Ciências. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais – DERNA. 1991.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Commun. Soil Science Plant Anal*, 19(13): 1467- 1476. 1988.

### CAPÍTULO III

#### PODZOLIZAÇÃO DOS SOLOS E IMPLICAÇÕES PALEOAMBIENTAIS EM CAMPINARANAS DO PARQUE NACIONAL DO VIRUÁ, RORAIMA: *dinâmicas do carbono orgânico, ferro e alumínio*

##### RESUMO

O Parque Nacional (PARNA) do Viruá compreende um vasto e complexo sistema de solos arenosos e hidromórficos, localizado na região norte da Amazônia Brasileira. O presente estudo teve como objetivo caracterizar aspectos da gênese dos solos podzolizados e sob a vegetação de Campinaranas no PARNA do Viruá, Roraima, distribuídos no gradiente fitofisionômico típico Campinaranas Florestadas, Arborizada e Gramíneo-Lenhosa. Foram estudados sete perfis de solos nestas fitofisionomias, com diferentes níveis de podzolização. Os solos são de textura arenosa, com predomínio de areia fina em todos ambientes, seguido pela areia grossa, silte e argila; ácidos, pobres e distróficos. O gradiente fitofisionômico estudado Floresta-Campinarana, acompanha o decréscimo do Carbono nos perfis de solos, assim como o teor de Carbono quantificado nas substâncias húmicas. Os dados isotópicos da fração ácido húmico sugerem a predominância de uma vegetação dominada por plantas do tipo C3, durante os períodos mais secos do Holoceno. Há presença horizontes hísticos (*peat*) em solos com níveis de podzolização mais avançados. Nos Espodossolos, a participação das formas metálicas de baixa cristalinidade ligadas ao Al é maior que em relação às formas ligadas ao Fe. Os solos estudados possuem diferentes níveis de podzolização, no entanto todos apresentam caráter humilúvico. Há indícios de ocorrência de imogolita em alguns solos no PARNA do Viruá, indicada pelas análises de dissoluções químicas seletivas. A mineralogia da fração argila indica a presença de minerais neoformados (gibbsita) e herdados da pedogênese *in situ* do material de origem (minerais 2:1 com hidroxientrecamadas).

**Palavras-chave:** Espodossolos, podzolização, imogolita, substâncias húmicas e campinaranas.

## INTRODUÇÃO

O Parque Nacional (PARNA) do Viruá compreende um vasto e complexo sistema de solos de textura arenosa e hidromórficos, localizado no estado de Roraima, região norte da Amazônia Brasileira. São solos muito arenosos, de natureza quartzosa, quase sem argilas e muito pobres quimicamente, em um domínio de Espodosolos e Neossolos Quartzarêncios. Esta região, no baixo Rio Branco, é dominada pela vegetação das Campinaranas (BRASIL, 1975; VELOSO et al., 1991).

O predomínio de solos arenosos aliado às características climáticas, equatoriais, são condições favoráveis à podzolização dos solos. Este processo consiste na translocação de compostos de Al com ou sem Fe em presença de húmus ácido e consequente acumulação desses constituintes amorfos ou de baixa cristalinidade no horizonte espódico, em subsuperfície (LUNDSTRÖM et al., 2000; SCHAETZL e ANDERSON, 2005; SOIL STAFF SURVEY, 1999).

Segundo alguns autores (ANDERSON et al., 1982, FARMER et al., 1980, citados por WADA, 1989; LUNDSTRÖM et al., 2000), duas teorias prevalecem sobre os mecanismos da podzolização: (1) as formas metálicas (Al e/ou Fe) translocam em associação com compostos orgânicos; (2) o intemperismo dos silicatos segue com a translocação do Al e Si, em formas inorgânicas, ou materiais do tipo imogolita. Na primeira teoria, a imobilização no horizonte iluvial é atribuída à precipitação/adsorção de complexos organometálicos, as frações ácidos fúlvicos e ácidos húmicos, segundo uma determinada relação C/metálico (PETERSEN, 1976), ou ainda, envolve os ácidos orgânicos de baixa massa molecular, os quais são decompostos pelos microorganismos durante a translocação e liberam Al e Fe, que precipitam em fases inorgânicas no horizonte B (LUNDSTRÖM et al., 2000).

Buurman e van Reeuwijk (1984) refutam a hipótese de migração dos aluminossilicatos de baixa cristalinidade, e atribuem sua ocorrência no horizonte espódico, à neoformação a partir do Si iluvial junto a espécies de Al liberadas do complexo orgânico pela atividade microbiana. Para solos ricos em material quartzoso, assim como os solos sob as Campinaranas do PARNA do Viruá, Little (1986) e Malcolm e McCracken (1968) consideraram que o transporte de Al e Fe a partir do horizonte A ocorre complexado à matéria orgânica, excluindo ou colocando em plano secundário a translocação de materiais tipo imogolita.

As diversas teorias envolvendo eluviação e iluviação dos complexos orgânicos e aluminossilicatos por meio de mecanismos de adsorção, precipitação e degradação

microbiológica são em parte contraditórias, mas alguns processos podem agir simultaneamente; entretanto, as interações biogeoquímicas em todos os processos são evidentes e a formação dos complexos orgânicos parece ter um importante papel tanto no intemperismo quanto na imobilização no horizonte iluvial (espódico) (LUNDSTRÖM et al., 2000).

Adicionalmente, o carbono iluvial imobilizado nos horizontes espódicos pode ser associados aos estudos de mudanças climáticas do Holoceno através das análises isotópicas, em especial a razão  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ( $\delta^{13}\text{C}$ ) para registrar as alterações floresta-campo (PESSENDA et al., 1996; VIDOTTO et al., 2007). Plantas do tipo C3, como árvores, arbustos e muitas gramíneas possuem valores de  $^{13}\text{C}$  mais baixos, com média de -28 ‰, enquanto as plantas do tipo C4, como gramíneas de ambientes secos, possuem valores de  $^{13}\text{C}$  mais altos, próximo a -13 ‰; os quais não se alteram significativamente durante a decomposição e formação da matéria orgânica do solo (MOS) e, desta forma, permitem caracterizar a dinâmica existente entre as vegetações e auxiliam na interpretação de prováveis trocas de vegetação e clima nos períodos passados (O'LEARY, 1988; BUTTON et al., 1998)

O presente estudo teve como objetivo caracterizar aspectos da gênese dos solos sob a vegetação das Campinaranas no PARNA do Viruá, Roraima, com ênfase na dinâmica do carbono orgânico e formas metálicas de Fe e Al, além de investigar a ocorrência dos solos no gradiente fitofisionômico típico e implicações da paleovegetação dominante.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Área de estudo e amostragem de solos**

O PARNA do Viruá, localizado no centro-sul do Estado de Roraima na região do baixo Rio Branco, ocupa 227.011 ha cobertos em sua maior parte pelo ecossistema de Campinaranas. Na classificação de Koppen, o clima é Amw' (chuva do tipo monção) e possui condição climática equatorial, com chuvas fortes e torrenciais, delimitados por um período seco curto (BRASIL, 1975).

Os solos predominantes das Campinaranas são desenvolvidos de material de origem retrabalhado proveniente do Pré-Cambriano, sedimentos de idade Plio-Pleistocênica (BRASIL, 1975). De maneira geral, este domínio é caracterizado pelas feições diferenciadas por arenização, dentro dos padrões da superfície de aplainamento conservada do Pediplano Rio Branco-Rio Negro. O Baixo Rio Branco e grande parte do

Rio Negro abrangem um amplo sistema palustre ou pantanoso em domínio de areias, a rigor um verdadeiro Pantanal Arenoso, batizado por Santos e Nelson (1995) como Pantanal Setentrional, em trabalhos geológicos precedentes.

Os solos foram coletados seguindo a distribuição no gradiente fitofisionômico típico da região, na sequência Campinaranas Florestadas – Arborizada – Gramíneo/Lenhosa. Algumas características gerais dos solos coletados são apresentadas na Tabela 1. A descrição e amostragem dos perfis foram realizadas de acordo com o proposto por Santos et al. (2005). Os perfis foram classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2005), seguindo critérios morfológicos, químicos, físicos e mineralógicos.

### Preparo e análise dos solos

Após coletadas as amostras no campo, as mesmas foram levadas aos laboratórios do DPS-UFV, onde foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de malha de 2 mm, visando obter amostras na forma de terra fina seca ao ar (TFSA), para serem submetidas à análises químicas e físicas de rotina, segundo Embrapa (1997).

Tabela 1 – Características gerais das áreas estudadas do PARNA do Viruá, Roraima.

Perfil	Classe de solo	Altimetria	Vegetação	Localização
P1	ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico arênico	66 m	Campinarana Florestada	Interior da Campinarana Florestada
P2	ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico arênico	65 m	Campinarana Arborizada	Próximo a Estrada da Perdida
P3	ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico esessarênico	52 m	Campinarana Gramíneo-Lenhosa (Duna)	Topo de uma duna inativa
P4	ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico dúrico	45 m	Campinarana Arborizada	Margem do rio Anauá
P5	ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico arênico	66 m	Campinarana Florestada	Borda da Campinarana Florestada
P6	ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico arênico	65 m	Campinarana Arborizada	Próximo a Estrada da Perdida
P7	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Hidromorfico espódico	65 m	Campinarana Gramíneo-Lenhosa	Próximo a Estrada da Perdida

### ***Análises químicas***

O pH em água e em KCl 1 mol L<sup>-1</sup> foram determinados na suspensão solo:solução 1:2,5. Os teores de cálcio, magnésio e o alumínio trocáveis foram extraídas com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, na proporção 1:20, e determinadas por espectrometria de absorção atômica. O potássio e sódio trocáveis foram extraídos com solução de Mehlich-1 e determinados por fotometria de chama. O fósforo foi extraído com solução de HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 mol L<sup>-1</sup> (Mehlich-1) e determinado por colorimetria na presença de ácido ascórbico (DEFELIPO e RIBEIRO, 1997). O ferro, zinco, manganês e cobre foram extraídos com solução Mehlich-1, e determinados por espectrometria de absorção atômica. A acidez potencial foi determinada por titulação com NaOH (0,025 mol L<sup>-1</sup>) da extração de acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> a pH 7,0. O Carbono Orgânico Total (COT) foi determinado pelo método de Wakley Black. O fósforo remanescente (P-rem) foi determinado conforme Alvarez et al. (2000).

### ***Análises físicas***

A granulometria foi determinada a partir da dispersão de 10 g de TFSA com NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> e agitação com 50 rpm durante 16 horas. Em seguida, as frações areia grossa e fina foram separadas por tamização em peneiras com malhas de 0,2 mm e 0,053 mm de abertura, respectivamente. A fração argila foi determinada pelo método da pipeta, e a fração silte calculada por diferença (RUIZ, 2005).

### **Análises Químicas e Mineralógicas**

Para a extração das formas cristalinas, de baixa cristalinidade e ligadas a matéria orgânica, de Fe e Al foram utilizadas amostras de 1,0 g, 0,3 g e 0,5 g a de TFSA, passadas em peneira de 0,075 mm, para as respectivas extrações. As formas de Fe livre foram extraídas pelo método DCB (MEHRA e JACKSON, 1960). Foram adicionados em tubos de centrífuga: as amostras pesadas, 20 mL de citrato de sódio (0,3 mol L<sup>-1</sup>), 2,5 ml de bicarbonato de sódio (1 mol L<sup>-1</sup>) e 1 g de ditonito de sódio em pó. Seguindo a extração em banho-maria por 30 minutos à temperatura aproximada de 70 °C, foi adicionada outra porção de ditonito após os 15 minutos iniciais. Durante todo o procedimento foram realizadas agitações periódicas. Repetiram-se mais duas extrações, e todos os extratos foram adicionados num mesmo frasco para a determinação de Fe, Al, Si e P por espectrometria de emissão de plasma.

As formas de baixa cristalinidade foram extraídas com oxalato de amônio em concentração de  $0,33 \text{ mol L}^{-1}$  a pH 3,0 (McKEAGUE, e DAY, 1966). Adicionaram-se 10 mL da solução em tubo de centrífuga revestido com papel alumínio, contendo as respectivas amostras pesadas. Após 2 horas de agitação, o material foi centrifugado e coletado o sobrenadante, para determinação de Fe, Al, Si e P por espectrometria de emissão de plasma.

Para a extração das formas ligadas a matéria orgânica utilizou-se o extrator Pirofosfato de Sódio  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  a pH 10,0 (SSIR No. 42, 2004). Adicionaram-se 30 mL da solução em tubo de centrífuga contendo a amostra de solo, agitou-se por 16 h, repousou por uma noite e, em seguida, o material foi centrifugado e coletado o sobrenadante para determinação de Fe, Al e Si por espectrometria de emissão de plasma.

Como indicador da presença dominante de materiais amorfos no complexo de troca dos solos, utilizou-se o pH determinado em NaF. Para isto, mediu-se o pH de 1 g de TFSA em 50 mL de 1 N NaF (com pH ajustado entre 7,5 a 7,8) em agitação por 2 minutos (SSIR No. 42, 2004). A maioria dos solos contém componentes que reagem com o NaF e liberam OH<sup>-</sup>; entretanto, de acordo com a Soil Taxonomy (SSIR No. 42, 2004), um pH NaF maior que 9,4 é um forte indicador de predomínio de materiais amorfos no complexo de carga do solo; que podem ser produtos recentes do intemperismo de materiais vulcânicos em clima úmido, ou materiais iluviais precursores da formação dos horizontes espódicos.

Para as análises mineralógicas pela difratometria de raios-X foi separada a fração argila (< 0,002 mm) dos principais horizontes diagnósticos estudados (Bh, Bhs e Bs). Através da dispersão de 30 g de TFSA com água, hidróxido de sódio (1 mol/L), com agitação lenta em 16h, as amostras foram passadas por peneira com malha de 0,053 mm, para separação da fração areia. Em seguida, as frações silte e argila que passaram através da peneira, foram separadas por sedimentação, segundo a Lei de Stokes. A fração de argila obtida foi então seca em estufas com temperatura de 45°C. As argilas foram preparadas em lâminas de vidro sob a forma de finas películas orientadas, através da técnica de sedimentação. Foi utilizado um difratômetro de raio X, com radiação Co-K $\alpha$  na faixa 4 a 50° 2 $\theta$ , com tensão de 40 kV e corrente de 30 mA. Os picos dos minerais foram identificados nos difratogramas de raio X a partir de CHEN (1977).

## Substâncias húmicas e Carbono Orgânico Total

A partir da técnica de diferença de solubilidade em álcali e ácido foram separadas as frações: ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) e humina (HUM), através do método adaptado de Swift (1996) (MENDONÇA e MATOS, 2005). Para a extração das frações foi utilizada uma solução de NaOH de  $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ , com a relação solo:extrator de 1:10, em um tempo de contato de 24 horas. Em seguida, as amostras foram centrifugadas a  $3.000 \text{ g}$  ( $\text{FCR}_{\text{média}}$ ) por 20 min, separando-se o resíduo do extrato alcalino (EA). O resíduo foi levado para estufa a  $45^{\circ}\text{C}$  e reservado para determinação do carbono. O EA teve o pH ajustado para  $2,0 \pm 0,1$  com solução  $\text{H}_2\text{SO}_4$  20% e, após 12 horas de repouso, foi centrifugado a  $3.000 \text{ g}$  ( $\text{FCR}_{\text{média}}$ ) por 5 min. O sobrenadante, com a fração AF, foi transferido para frascos de vidro e aferido o volume para 45 mL com água destilada. Ao precipitado retido no tubo (AH), completou-se o volume para 45 mL de NaOH  $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ . Para a determinação do carbono na forma de humina e dos extratos das frações AH e AF utilizou-se a metodologia de Yeomans e Bremner (1988), assim como para cálculo do Carbono Orgânico Total (COT).

## Determinação da razão isotópica $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ( $\delta^{13}\text{C}$ )

Os dados da razão isotópica correspondem à fração dos AH representativa dos horizontes A e espódico de cada perfil de solo. As plantas com ciclo C3 têm valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$  de aproximadamente  $-32 \text{ ‰}$  a  $-22 \text{ ‰}$ , com uma média de  $-27 \text{ ‰}$ ; e as plantas C4 apresentam valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$  de aproximadamente  $-17 \text{ ‰}$  a  $-9 \text{ ‰}$ , com uma média de  $-13 \text{ ‰}$  (BUTTON et al., 1991). O valor de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$  é expresso por mil (‰) e representa a proporção da razão  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  de uma amostra em relação à do padrão internacional PDB (*Belemnitella Americana* da Formação Pee Dee) (BUTTON et al., 1998).

A partir da técnica de diferença de solubilidade em álcali e ácido foi separada a fração ácidos húmicos (AH), através do método adaptado de Swift (1996) (MENDONÇA e MATOS, 2005). A fração AH obtida foi congelada, liofilizada e seca em estufa a  $45^{\circ}\text{C}$ , para posterior análise em espectrômetro de massa de razão isotópica de fluxo contínuo (EMRI) (20-20, ANCA GSL, Sercon, Crewe, UK).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Classificação dos solos, características morfológicas, químicas e físicas

Os Espodosolos Humilúvicos predominam na paisagem das Campinaranas do PARNA do Viruá (Figura 1). Estes solos ocorrem de maneira generalizada nas três fitofisionomias, Campinarana Florestada, Arborizada e Gramíneo-Lenhosa (Figura 1). No entanto, possuem variações no teor de carbono orgânico em superfície e subsuperfície, de acordo com a biomassa da vegetação. Nas Campinaranas Florestadas os solos são mais ricos em material orgânico e ocorrem em nível altimétrico pouco mais elevado, cerca de 0,4 a 1,0 metros; o suficiente para evitar as inundações constantes como ocorrem nas Campinaranas Arborizadas e Gramíneo-Lenhosas durante a estação chuvosa. O horizonte O ocorre apenas na fisionomia florestada, possui cerca de 10 cm de espessura e apresentam-se ricos em raízes finas, de cores bruno-avermelhado-escuras (2,5YR 2,5/3, úmido). Na fisionomia Arborizada destacam-se os Espodosolos com horizonte E mais espesso (maior que 25 cm) e alábico. As diferenciações destes solos referem-se ao incremento de MO em subsuperfície, parecem estar condicionadas aos pequenos desníveis do terreno (plano), onde periodicamente, as variações do nível do lençol freático formam ambientes (micro-relevos) com maior ou menor incidência de inundações.

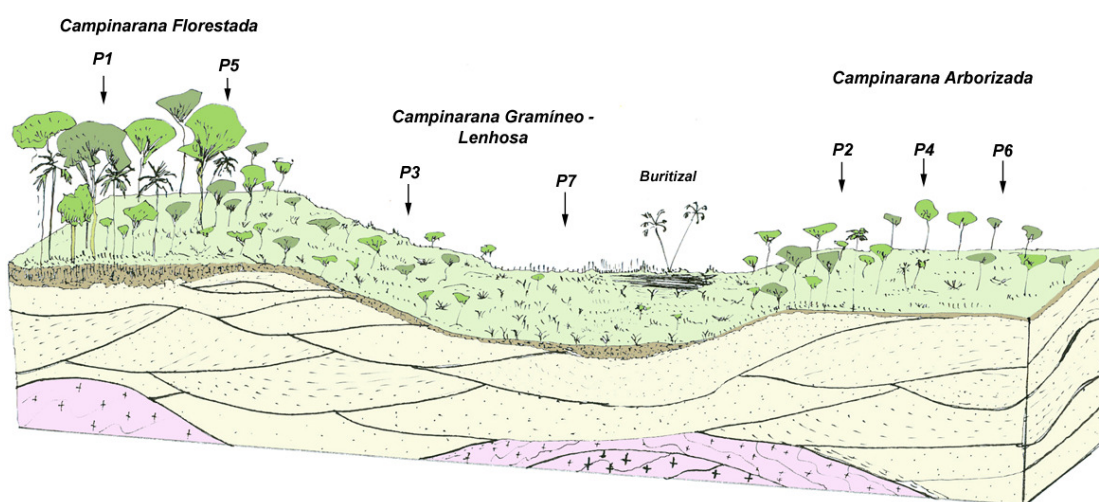


Figura 1 – Bloco diagrama com a distribuição dos perfis de solos coletados no gradiente fitofisionômico das Campinaranas no PARNA do Viruá, Roraima.

Os Espodossolos estudados são, no 3º nível categórico, Hidromórficos ou Órticos; os Hiperespessos, comumente chamados de “Espodossolos Gigantes”, com horizontes espódicos profundos, de 3 a 10 m (DUBROEUCQ e VOLKOFF, 1988; 1998), não foram verificados. No entanto, sua ocorrência é esperada para a região. No 4º nível categórico são classificados como: *arênicos*, quando associados às Campinaranas Florestadas e Arbustivas presentes nos interflúvios; *espessarênicos*, nas dunas inativas com Campinarana Gramíneo-Lenhosa; ou *dúricos*, nas Campinaranas em contato com as drenagens principais. Estes solos são arenosos, com predomínio de areia fina em todas as fitofisionomias de sua ocorrência, seguido pela areia grossa, silte e argila (Tabela 2), o que sugere a origem eólica dessas formações, originárias do retrabalhamento da cobertura sedimentar arenosa dominante (Formação Içá) (BRASIL, 1975; SANTOS e NELSON, 1995; CPRM, 2000). Os solos das Campinaranas Florestadas diferenciam-se dos demais por apresentar menor conteúdo de areia grossa e maior de silte e argila (Tabela 2).

De maneira geral, são solos ácidos, muito pobres e distróficos, com pH entre 3,52 a 5,65, Soma de Bases (SB) menor que  $0,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e Saturação por Bases (V) menor que 20% (Tabela 2). Em todos os perfis de Espodossolos, os horizontes espódicos possuem P-rem menor que os horizontes sobrejacentes, o que sugere a maior afinidade do P pelos compostos organometálicos presentes (Tabela 2). De acordo com Wada (1989), o processo de podzolização dos solos concentra material iluvial organometálico dotados de cargas elétrica positiva e com elevada atração por fosfatos.

Nas áreas mais abertas, dominadas pelas Campinaranas Gramíneo-Lenhosas, ocorrem os campos de dunas fósseis (ou paleodunas) em áreas de maior exposição aos ventos, ativas durante fases mais secas de períodos glaciais, e atualmente estáveis e parcialmente vegetadas (SANTOS e NELSON, 1995; CARNEIRO FILHO, et al., 2003). Nestas áreas, próximos aos agrupamentos arbóreo-arbustivos ocorrem como inclusões Espodossolos Humilúvicos órticos, não hidromórficos, com notáveis evidências da podzolização lateral, em lamelas de espodização.

Tabela 2 – Características químicas e físicas dos perfis de solos coletados no PARNA do Viruá, Roraima

Horizonte e profundidade (cm)	pH		P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	T	V	m	MO	Prem	AG	AF	Sil	Arg
	H <sub>2</sub> O	KCl																	
<b>P1 ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico arênico - Campinarana Florestada</b>																			
O (10-0)	3,82	3,0	0,6	33	38,1	0	0,5	3,7	26,7	0,8	27,5	2,8	83	40,4	59,9	19	26	29	26
A (0-5)	4,52	3,5	2,2	15	11,9	0	0,5	3,2	21,1	0,5	21,6	2,5	85,7	8,8	24,8	23	40	26	11
A/E (5-13)	4,95	4,21	2,1	3	0,9	0	0,4	1,4	11,9	0,4	12,3	3,5	76,9	3,4	18,6	18	51	23	8
Bh (13-70)	5,29	4,4	0,6	0	0	0	0,4	0,7	9,3	0,4	9,73	4,4	60,9	3,4	12,1	16	47	27	10
Bhs (70-110)	4,98	4,63	0,6	0	0	0	0,4	0,3	3,8	0,4	4,22	10	40,8	3,6	22,5	17	47	27	9
Bs (110-170 <sup>+</sup> )	4,75	4,39	0,4	0	0	0	0,4	0,2	1,6	0,4	2,01	20	31,7	0,6	46,6	20	45	20	15
<b>P2 ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico arênico - Campinarana Arborizada</b>																			
A (0-10)	4,22	3,00	4,9	30	8,3	0,08	0,09	1,33	9,8	0,29	10,1	2,9	82,1	4,74	59,9	20	53	23	4
E (10-60)	4,80	4,10	1,0	0	0	0,03	0,04	0,31	1,5	0,07	1,57	4,5	81,6	0,38	60	30	49	20	1
Bh (60-80)	4,26	3,91	4,1	4	0	0,01	0,04	1,54	9,3	0,06	9,36	0,6	96,3	2,25	36,2	25	48	24	3
Bhs (80-100)	4,82	4,31	1,0	0	0	0	0,04	1,33	2,5	0,04	2,54	1,6	97,1	2,78	7,1	22	46	24	8
C1 (100-140)	4,69	4,28	0,5	1	0	0,17	0,04	0,51	2,2	0,21	2,41	8,7	70,8	0,49	44,4	18	48	20	14
<b>P3 ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico espessarênico - Campinarana Gramíneo-Lenhosa (Duna)</b>																			
O (4-0)	3,52	3,00	29,0	96	59,8	0	0,17	3,28	24,2	0,68	24,9	2,7	82,8	24,32	60	33	57	3	7
E1 (0-9)	4,52	3,26	2,6	7	0,4	0	0,05	0,31	2,7	0,07	2,77	2,5	81,6	0,84	59,9	23	69	6	2
E2 (9-21)	4,78	3,43	1,4	0	0	0	0,04	0,31	3,4	0,04	3,44	1,2	88,6	0,77	60	21	72	5	2
E3 (21-31/126)	5,54	4,42	0,6	0	0	0	0,03	0,51	1,4	0,03	1,43	2,1	94,4	0,29	60	33	62	3	2
Bh (31-36/131)	5,24	4,33	44,0	0	0	0	0,03	0,41	4,1	0,03	4,13	0,7	93,2	0,94	46,5	31	64	2	3
Bs (36-136)	5,38	4,50	5,1	0	0	0	0,03	0,21	2,7	0,03	2,73	1,1	87,5	0,36	46	31	64	2	3
<b>P4 ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico dúrico - Campinarana Arborizada</b>																			
E (0-20/25)	5,54	4,01	1,9	7	8,3	0,06	0,05	0,72	3,2	0,17	3,37	5,0	80,9	0,58	59,9	56	34	7	3
Bh (20-25)	4,48	3,06	0,6	0	0	0,12	0,06	5,33	22,8	0,18	23	0,8	96,7	4,97	28,3	71	19	3	7
Bhs (25-115)	4,83	3,75	15,0	0	0	0	0,04	3,18	16,4	0,04	16,4	0,2	98,8	4,47	15,2	60	30	2	8
Bs (115-170)	4,88	4,04	4,6	0	0	0,03	0,07	1,43	10,1	0,10	10,2	1,0	93,5	1,51	20,9	55	36	1	8
<b>P5 ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico arênico - Campinarana Florestada (borda)</b>																			
A (0-4)	3,83	3,00	2,1	43	16,1	0	0,09	4,2	27,2	0,27	27,5	1,0	94,0	21,14	47,2	27	43	20	10
A/E (4-16)	4,60	3,90	3,2	10	5,1	0	0,01	1,95	11,3	0,06	11,4	0,5	97,0	2,83	26	24	52	19	5
Bh (16-62)	5,15	4,39	1,5	9	0	0	0,01	0,92	8,3	0,03	8,33	0,4	96,8	3,06	14,3	25	50	20	5
BC (62-76)	5,21	4,60	1,2	7	0	0	0	0,41	5,1	0,02	5,12	0,4	95,3	2,22	18,6	27	48	21	4
C (76-90)	5,23	4,99	1,7	3	0	0	0	0,1	2,5	0,01	2,51	0,4	90,9	0,52	31,4	25	50	22	3
<b>P6 ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico arênico - Campinarana Arborizada</b>																			
A1 (0-8)	4,86	3,29	1,2	8	12,7	0	0,05	0,92	4,1	0,13	4,23	3,1	87,6	2,75	56,4	31	52	13	4
A2 (8-19)	5,06	3,67	0,7	2	1,8	0	0,01	0,31	2	0,03	2,03	1,5	91,2	1,41	56,6	33	48	17	2
E (19-49)	5,49	4,26	0,5	0	0	0	0	0,1	0,8	0	0,8	0	100	0,43	57,1	39	47	12	2
EC (49-70)	5,65	4,70	0,8	0	0	0	0	0,21	1	0	1	0	100	0,57	55,1	39	49	11	1
Bh1 (70-81)	5,58	4,59	0,5	0	0	0	0	0,41	1,4	0	1,4	0	100	0,75	45,1	39	46	14	1
Bh2 (81-92)	5,54	4,61	0,7	0	0	0	0	0,41	2,4	0	2,4	0	100	0,95	36,5	33	53	12	2
Bhs (92-104 <sup>+</sup> )	5,47	4,58	1,4	0	0	0	0	0,51	3,2	0	3,2	0	100	1,10	22,7	28	52	18	2
<b>P7 NEOSSOLO QUARTZERÊNICO Hidromórfico espódico - Campinarana Gramíneo-Lenhosa</b>																			
EC (0-15)	5,23	3,72	1,2	1	0	0,01	0,01	0,41	1,7	0,02	1,72	1,2	95,3	1,85	56,6	23	57	19	1
C1 (15-85)	4,97	4,45	1,1	0	0	0	0	0,1	0,7	0	0,7	0	100	0,84	55,4	37	50	12	1
C2 (85-100)	5,36	4,81	1,2	0	0	0	0	0,1	1,9	0	1,9	0	100	0,41	27,3	23	50	24	3

Nas Campinaranas Gramíneo-Lenhosas predominam os Neossolos Quartzarênicos, em razão do menor aporte de MO dessa fitofisionomia, insuficiente para permitir o acúmulo em superfície e subsuperfície. O Neossolo Quartzarênico (P7) possui características químicas e físicas muito semelhantes aos Espodosolos estudado. Estes solos estão distribuídos na paisagem em forma de mosaicos, associados aos agrupamentos arbóreo-arbustivos, com mudanças abruptas em curtas distâncias com os Espodosolos. São solos distróficos ácidos, arenosos, com predomínio de areia fina, seguido pela areia grossa, silte e argila (Tabela 2). Estes solos possuem camadas superficiais pobres em MO, com média menor que  $1,8 \text{ dag kg}^{-1}$  (Tabela 2), com horizontes A moderados. A CTC em todos os horizontes é associada aos teores médios de MO e evidencia a importância da ciclagem de nutrientes para a vegetação nestes solos quase sem argila (Tabela 2). Tais características mostram o oligotrofismo típico destes ambientes, onde vegetação apresenta-se aberta e com porte reduzido (Figura 1), em razão da escassez de nutrientes.

### **Carbono Orgânico Total e Substâncias Húmicas**

O gradiente fitofisionômico Campinarana Florestada, Arborizada e Gramíneo-Lenhosa, acompanha o decréscimo do Carbono Orgânico Total (COT) nos perfis de solos estudados (Tabela 3). Destaca-se o acúmulo de COT nos horizontes O e A e nos horizontes espódicos (Bh, Bhs ou Bs), mais elevados nas Campinaranas Florestadas. O mesmo ocorre para o teor de Carbono Orgânico (CO) quantificado nas substâncias húmicas, porém em menor proporção.

Nos perfis coletados nas Campinaranas Florestadas (P1 e P5) destacam-se nos horizontes superficiais (O e A) padrões semelhantes na distribuição do CO das frações de substâncias húmicas, com aumento crescente das frações AF, AH e Humina, o que revela a ocorrência de substâncias húmicas mais estáveis nestes solos. Segundo Siefferma et al. (1987), o acúmulo de materiais orgânicos são formados, comumente, relacionado às baixas temperaturas, nas zonas temperadas ou em maiores altitudes, e/ou à drenagem deficiente dos solos, as quais diminuem a taxa de decomposição da matéria orgânica pelos microorganismos. No entanto, outros fatores ainda pouco estudados, porém mais relevantes nas condições do PARNA do Viruá, como a resistência de decomposição microbiológica dos complexos organometálicos ou a dessaturação dos solos, típica dos solos de países tropicais e equatoriais, conhecidos como “Podzóis

Tropicais” ou “Podzóis Gigantes” (SIEFFERMA et al., 1987; DUBROEUCQ e VOLKOFF, 1988; 1998).

De acordo com Siefferma et al. (1987), a formação de horizontes ricos em matéria orgânica pode ser associado aos solos com podzolização em processo avançado, ou seja, com grandes evidências da translocação dos complexos organometálicos em todo perfil de solo. De modo geral, os horizontes E apresentam os menores teores de substâncias húmicas e COT, comparados com os horizontes espódicos subjacentes (Tabela 3). No entanto, nos solos sob a Campinarana Florestada o horizonte E é associado ao horizonte A (definido como horizonte intermediário A/E), em camadas pouco espessas, em razão dos teores mais elevados de CO, porém com valores e cromas suficientes para caracterizar o horizonte eluvial (10YR 3/1, úmido).

Nos Perfis 1 e 7 os teores da fração húmica decrescem em profundidade, padrão semelhante ao encontrado por Gomes et al. (1998) em solos arenoquatzosos de restinga; que corrobora com a condição de baixa solubilidade desta fração. Os outros perfis possuem pequenos incrementos da fração húmica nos horizontes espódicos, assim como das outras frações (AF + AH). De acordo com Buol et al. (1980), a migração destas frações na formação dos horizontes espódicos são exemplos clássicos da influência das substâncias húmicas na gênese dos solos podzólicos. Na maioria dos horizontes espódicos, predomina a fração húmica, com variação de 0,06 a 0,83 dag kg<sup>-1</sup> nos horizontes Bh.

Todos os horizontes Bh apresentam-se acima dos horizontes Bhs ou Bs, e com teores da fração ácidos húmicos superiores a fração ácidos fúlvicos (Tabela 2). Alguns trabalhos (DE CONINCK, 1980; ANDERSON et al., 1982; SKJEMSTAD et al., 1992b) também reportam a fração AH concentrada na parte superior do horizonte espódico em Espodosolos, enquanto a fração AF domina a parte mais inferior. Segundo Gomes et al. (1998), o decréscimo da relação AH/AF em profundidade é o resultado da maior mobilidade e menor polimerização dos AF em relação aos AH.

Tabela 3 – Quantificação das substâncias húmicas (AF- Fração Ácidos Fúlvicos; AH – Fração Ácidos Húmicos; HUM – Fração Humina), o Carbono Orgânico Total (COT) e razão isotópica  $\delta^{13}\text{C}$  nos solos estudados nas Campinaranas no PARNA do Viruá, Roraima.

Horizonte e profundidade (cm)	AF	AH	HUM	COT	AH/AF	(AF + AH)/HUM	$\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$
	----- dag kg <sup>-1</sup> -----						
<b>P1 ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico arênico – Campinarana Florestada</b>							
O (10-0)	1,11	2,79	16,35	23,45	2,51	0,24	-30,09
A (0-5)	0,31	1,34	3,71	5,10	4,29	0,44	-28,79
A/E (5-13)	0,33	0,40	1,38	1,98	1,22	0,53	n.d.
Bh (13-70)	0,22	0,71	0,78	1,99	3,29	1,20	-28,10
Bhs (70-110)	0,06	0,05	0,58	2,11	0,97	0,19	n.d.
Bs (110-170+)	0,17	0,08	0,33	0,35	0,47	0,77	n.d.
<b>P2 ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico arênico – Campinarana Arborizada</b>							
A (0-10)	0,16	0,23	0,64	2,75	1,46	0,61	-30,02
E (10-60)	0,08	0,05	0,21	0,22	0,63	0,61	n.d.
Bh (60-80)	0,14	0,18	0,33	1,31	1,29	0,96	-25,24
Bhs (80-100)	0,80	0,31	0,83	1,61	0,38	1,34	n.d.
C1 (100-140)	0,03	0,11	0,35	0,28	4,23	0,39	n.d.
<b>P3 ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico espessarênico – Campinarana Gramíneo-Lenhosa (Duna)</b>							
O (4-0)	1,33	1,91	14,56	14,11	1,44	0,22	-27,26
E1 (0-9)	0,05	0,24	0,22	0,49	4,62	1,31	n.d.
E2 (9-21)	0,06	0,13	0,48	0,44	2,15	0,39	n.d.
E3 (21-31/126)	0,07	0,05	0,44	0,17	0,70	0,28	n.d.
Bh (31-36/131)	0,11	0,19	0,48	0,55	1,76	0,61	-24,36
Bs (36-136)	0,15	0,06	0,10	0,21	0,40	2,19	n.d.
<b>P4 ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico dúrico – Campinarana Arborizada</b>							
E (0-20/25)	0,07	0,08	0,26	0,27	1,16	0,58	n.d.
Bh (20-25)	0,27	2,63	0,58	3,07	9,59	4,97	-25,50
Bhs (25-115)	0,83	0,43	0,28	1,99	0,52	4,47	n.d.
Bs (115-170)	0,88	0,08	0,64	1,62	0,09	1,51	n.d.
<b>P5 ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico arênico – Campinarana Florestada (borda)</b>							
A (0-4)	0,59	1,48	5,67	12,26	2,53	0,36	-26,43
A/E (4-16)	0,17	0,48	1,19	1,64	2,82	0,55	n.d.
Bh (16-62)	0,24	0,41	0,34	1,77	1,70	1,90	-24,46
BC (62-76)	0,13	0,28	0,57	1,29	2,13	0,71	n.d.
C (76-90)	0,11	0,17	0,24	0,30	1,51	1,20	n.d.
<b>P6 ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico arênico – Campinarana Arborizada</b>							
A1 (0-8)	0,10	0,18	1,01	1,60	1,80	0,27	-26,54
A2 (8-19)	0,03	0,13	0,16	0,82	5,10	1,00	n.d.
E (19-49)	0,06	0,05	0,29	0,25	0,83	0,37	n.d.
EC (49-70)	0,01	0,10	0,37	0,33	10,98	0,29	n.d.
Bh1 (70-81)	0,07	0,13	0,14	0,43	1,97	1,44	n.d.
Bh2 (81-92)	0,07	0,15	0,41	0,55	2,17	0,53	-25,83
Bhs (92-104+)	0,10	0,05	0,06	0,64	0,48	2,53	n.d.
<b>P7 NEOSSOLO QUARTZERÊNICO Hidromórfico espódico – Campinarana Gramíneo-Lenhosa</b>							
EC (0-15)	0,10	0,09	0,68	1,07	0,88	0,27	n.d.
C1 (15-85)	0,00	0,08	0,41	0,49	-	0,19	n.d.
C2 (85-100)	0,02	0,07	0,32	0,24	3,00	0,30	n.d.

n.d. – não determinado

De acordo com Fontana et al. (2008, 2010), a concentração das frações alcalinossolúveis (AF + AH) e a relação (AF + AH)/HUM maior que 2,0 contribuem para a definição dos horizontes diagnósticos, no âmbito da avaliação do fracionamento quantitativo da matéria orgânica do solo. Segundo Benites et al. (2001, 2003), os altos

valores dessa relação seriam indicativos da translocação e acúmulo dos compostos alcalinossolúveis nos horizontes espódicos, além de servir como avaliação do processo pedogenético de podzolização. Nas Campinaranas do PARNA do Viruá esta relação é mais elevada nos horizontes espódicos, maior que dois apenas nos Perfis 3, 4 e 6.

### **Análise isotópica ( $\delta^{13}\text{C}$ ) da matéria orgânica dos solos**

A composição isotópica ( $\delta^{13}\text{C}$ ) da fração AH da matéria orgânica dos solos é apresentada na Tabela 3. Em todos os solos esta fração apresentou enriquecimento isotópico em  $^{13}\text{C}$  em profundidade (Tabela 3). A diminuição da razão isotópica  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  em profundidade também é observada em outros trabalhos (PESSENDA et al., 1996; NARDOTO, 2005) e pode ser apontada como decorrente do fracionamento isotópico durante a decomposição da matéria orgânica ao longo do perfil de solo. Em maiores profundidades, a matéria orgânica mais antiga tem enriquecimento relativo em  $\delta^{13}\text{C}$  de 1-3 ‰ maior que em superfície (NADELHOFFER e FRY, 1988; BUTTON et al., 1998). Os valores mais elevados em subsuperfície podem refletir pequena contribuição, mas com efeito isotópico acumulativo, atribuída à respiração de invertebrados e microorganismos decompositores, à decomposição diferencial da serrapilheira com distinções bioquímicas isotópicas, e/ou à diminuição de 1,5‰ no valor da razão isotópica  $\delta^{13}\text{C}$  do  $\text{CO}_2$  atmosférico durante os últimos 200 anos (BUTTON, 1996; BUTTON et al., 1998)

Todos os horizontes espódicos possuem a razão isotópica menor que os horizontes superficiais subjacentes, com valores entre -24,3 ‰ a -28,1 ‰ e -26,4 ‰ a -30,1 ‰, respectivamente. Estes dados indicam um predomínio de espécies com ciclo fotossintético do tipo C3, característico das espécies arbóreo-arbustivas dominantes nas Campinaranas. Em subsuperfície, o enriquecimento isotópico do  $^{13}\text{C}$  sugere ainda pouca contribuição de carbono iluvial proveniente de eventuais espécies do tipo C4, presentes nas áreas abertas, nas adjacências dos agrupamentos arbóreo-arbustivos das Campinaranas, onde ocorrem com frequência espécies das famílias Cyperaceae e Poaceae.

A distribuição espacial dos Espodosolos do PARNA do Viruá é diretamente associada às formações florestais e arbustivas das Campinaranas, o que revela a predominância das espécies do tipo C3, principalmente nos horizontes superficiais. Nas Campinaranas Florestadas a razão isotópica da fração AH dos solos possui dominância para as espécies do tipo C3, principalmente no P1, com valor de -28,1 ‰ a 30,1 ‰,

onde são ausentes espécies do tipo C4 na vegetação atual. No P5 o efeito de borda na Campinarana Florestada é evidente, através do enriquecimento isotópico em  $^{13}\text{C}$ , nos horizontes A e Bh, com pequena tendência para a mistura de espécies do tipo C3 e C4. Nas bordas destas formações florestadas podem ocorrer espécies herbáceas (tipo C4) mesmo sob um domínio de espécies arbóreas (tipo C3). Os dados isotópicos para as Campinaranas Arborizadas e Gramíneo-Lenhosas (P2, P3, P4, P6 e P7) possuem maior enriquecimento isotópico em  $^{13}\text{C}$  na fração AH em relação ao P1. Nas formações arborizadas e gramíneo-lenhosas ocorrem espécies das famílias Cyperaceae e Poaceae, algumas das quais C4, e que podem contribuir para a razão maior.

No caso da região do PARNA do Viruá, se esperaria que durante as fases de clima mais secos do Holoceno (AB´SABER, 1977; ABSY, 1985; PRANCE, 1985), quando haviam dunas ativas, houvesse pouca cobertura vegetal, e possivelmente a ocorrência ou dominância de gramíneas do tipo C4, as quais são mais resistentes à decomposição nos solos de baixa umidade (PEARCY et al. 1987; EHLERINGER e MONSON, 1993; NORDT et al., 1994). No entanto, os valores  $^{13}\text{C}$  da fração ácidos húmicos, sugerem que as espécies do tipo C4 não foram predominantes no passado, sem registros evidentes na MOS. Os dados são consistentes com Martinelli et al. (1996), que indica que as gramíneas do tipo C4 não foram dominantes durante os períodos secos do Holoceno na região Amazônica. Postula-se assim, que nas fases mais secas, a vegetação era dominada por gramíneas do tipo C3 e/ou vegetação lenhosa mais estacional, arbóreo-arbustiva (tipo C4). A dominância da vegetação florestal, durante o fim da última glaciação e início do Holoceno é consistente com alguns trabalhos de reconstrução da vegetação pretérita (COLINVAUX et al., 1996; HABERLE e MASLIN, 1999).

Nestas condições, nas fases de regime climático mais árido, a presença do fogo destruiu grandes áreas florestais e campestres da bacia Amazônica, formando mosaicos de sucessão vegetal, indicado pela presença de carvão nos solos datado do meio ao fim do Holoceno, resultado de eventos climáticos, ou às intervenções humanas, ou ainda, por meio das interações homem-clima (SANFORD et al., 1985).

### **Química e Mineralogia dos solos**

As extrações de Al, Fe, Si e P com oxalato de amônio, ditionito citrato-bicarbonato (DCB) e pirofosfato de sódio indicam o acúmulo desses elementos nos horizontes espódicos (Tabela 4). O Al em todas as extrações foi superior ao Fe, Si e P, e

corroborar com a literatura (GOMES et al., 1998; ANDERSON et al. 1982; HOLZHEY et al., 1975; BUURMAN e JONGMANS, 2005; OLIVEIRA et al., 2010), que sugerem seu maior envolvimento nos processos pedogenéticos de solos tropicais arenosos e hidromórficos. O predomínio do Al nestes solos também é relacionado à sua elevada afinidade pelos complexos orgânicos. O Al extraído com pirofosfato de sódio, em na maioria dos horizontes, foi maior que o extraído pelo DCB, o que reforça o caráter humilúvico destes solos. O método do pirofosfato de sódio é um pobre extrator de alofana, imogolita, aluminossilicatos amorfos e óxidos hidratados de Fe e Al não cristalinos; mas é método que extrai Fe e Al ligados a formas orgânicas, característicos dos critérios de espodização (SSIR No.42, 2004).

De acordo com Schwertmann et al. (1986), nos solos ricos em carbono o Fe é preferencialmente precipitado na forma de ferridrita, ao contrário da goethita, hematita ou lepidocrocita. A relação  $Fe_O/Fe_{DCB}$  mais próxima a 1,0 pode indicar a presença da ferridrita nos solos, entretanto, o  $Fe_O$  pode extrair também o Fe ligado a compostos orgânicos (SCHWERTMANN et al., 1986). Nos solos estudados essa relação é maior nos horizontes espódicos e, apenas no Perfil 1, possui uma redução gradativa em profundidade (Tabela 5). A relação  $Fe_P/Fe_O$  foi maior que 1,0 nos Perfis 1 a 5, o que evidencia a dominância de complexos Fe-húmus entre as formas mal cristalizadas de Fe. Gomes et al. (1998) encontraram resultados semelhantes para os solos arenosos de restinga.

As condições de flutuação do lençol freático dominantes nesta paisagem são a causa principal do processo denominado ferrólise. Com a condição redutora provocada pelas inundações periódicas, o Fe presente nas estruturas dos minerais ou associado às formas orgânicas pode ser lixiviado como  $Fe^{2+}$  (ANDERSON et al., 1982; BRINKMAN, 1970; ANDRADE, 1990) ou ainda, estar acumulado em horizontes “pans”, endurecidos e mais profundos, denominados *ortstein*.

Os teores reduzidos de P nas extrações corroboram com a pobreza química destes solos, onde poucas formas metálicas são ligadas aos fosfatos. As poucas fontes de P nestes sistemas são associadas às formas orgânicas, o que pode ser observado pelas associações positivas entre a CTC, MO, P-Mehlich (Tabela 2).

O  $pH_{NaF}$  foi superior a 9,63 nos horizontes Bs e Bhs de todos os perfis (Tabela 4) e indica a presença de materiais de baixa cristalinidade dominantes no complexo de carga do solo (SSIR No. 42, 2004), precursores dos horizontes espódicos. Não há indicação destas formas nas camadas superficiais dos solos, exceto para o Perfil 1

(horizonte A/E). Além dos horizontes espódicos (iluviais), os perfis coletados na Campinarana Florestada possuem este padrão ( $\text{pH}_{\text{NaF}} > 9,4$ ) em horizontes transicionais A/E e BC, o que indica o processo avançado de podzolização dos solos, por meio do acúmulo das formas de baixa cristalinidade em subsuperfície e próximo a superfície. Nas Campinaranas Arbóreo-Arbustivas, o  $\text{pH}_{\text{NaF}}$  é mais elevado apenas nas camadas inferiores do horizonte espódico, o que pode ser associado à podzolização menos avançada.

Assim como  $\text{pH}_{\text{NaF}}$ , a extração com oxalato de amônio pode revelar a presença de materiais de baixa cristalinidade, dentre os quais destacam-se a imogolita (SSIR No. 42, 2004; WADA, 1989). A ocorrência de precipitados de Al-Si inorgânicos nos horizontes espódicos, amorfos ou do tipo da imogolita, tem como hipótese sua formação a partir de materiais provenientes dos horizontes O e E, translocados no perfil de solo e, posteriormente, imobilizados no horizonte B espódico (LUNDSTRÖM et al., 2000).

Historicamente, a imogolita foi descrita por Yoshinaga e Aomine (1926, citados por WADA, 1989) em solos derivados de cinzas vulcânicas; é um mineral paracristalino, aluminossilicato, com propriedades químicas similares à alofana (WADA, 1989). Sua gênese é associada à participação de outros minerais e ao acúmulo de húmus. Na relação  $\text{Al}_O - \text{Al}_P/\text{Si}_O$ , a diferença  $\text{Al}_O$  menos  $\text{Al}_P$  indica uma estimativa do Al presente nos materiais do tipo imogolita, enquanto o  $\text{Si}_O$  uma estimativa do Si presente nestes materiais (SSIR No. 42, 2004); no PARNA do Viruá, esta relação é positiva nos Perfis 1 e 2 (Tabela 5) e, portanto, indica a ocorrência da imogolita. Entretanto, esta relação pode ser inadequada em alguns solos, pois grande parte do  $\text{Al}_P$  nos Espodossolos é mais elevado que o  $\text{Al}_O$  (GOMES et al., 1998). Outra relação importante para a ocorrência da imogolita é  $\text{Al}_O + \frac{1}{2} \text{Fe}_O > 0,5$  (SOIL SURVEY STAFF, 1999) a qual indica, possivelmente, o caráter ândico em todos os horizontes espódicos, exceto em P3. Nos perfis estudados, o  $\text{Si}_O$  possui teores mais elevados nos horizontes subsuperficiais Bs ou Bhs, o que indica a provável ocorrência destes minerais de baixa cristalinidade de Al-Si (Tabela 4). Normalmente, a imogolita está presente em Espodossolos nos horizontes Bs e C (WADA, 1989), e corrobora com os dados dos perfis coletados no PARNA do Viruá.

No entanto, para a identificação precisa dos minerais de baixa cristalinidade de Al (materiais tipo imogolita) e Fe (Ferridrita) nos solos utiliza-se, além das dissoluções químicas seletivas, a espectroscopia no infravermelho, para as fases contendo Al, e espectroscopia de Mössbauer, para as fases contendo Fe (GOMES et al. 2007).

Tabela 4 – Resultados do pH em NaF e das extrações de Al, Fe, P e Si com Oxalato de amônio, Ditionito-Citrato-Bicarbonato (DCB) e Pirofosfato de sódio, nos perfis de solo estudados, associados à respectiva cobertura vegetal, no PARNA do Viruá, Roraima.

Horizontes e profundidade (cm)	pH NaF	Oxalato				DCB				Pirofosfato		
		Al <sub>O</sub>	Fe <sub>O</sub>	P <sub>O</sub>	Si <sub>O</sub>	Al <sub>DCB</sub>	Fe <sub>DCB</sub>	P <sub>DCB</sub>	Si <sub>DCB</sub>	Al <sub>p</sub>	Fe <sub>p</sub>	Si <sub>p</sub>
<b>P1- ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico arênico - Campinarana Florestada</b>												
O (10-0)	6,12	1,09	0,49	0,03	0,88	0,94	0,28	0,19	3,09	1,09	0,02	1,96
A/E (5-13)	10,30	1,53	0,45	0,00	0,56	1,89	0,50	0,09	1,16	3,56	0,46	2,17
Bhs (70-110)	10,97	0,48	0,18	0,03	0,00	1,85	0,68	0,07	0,69	5,48	0,47	3,10
Bs (110-170 <sup>+</sup> )	9,63	1,43	0,09	0,00	0,86	1,44	1,06	0,06	1,03	1,18	0,08	0,72
<b>P2 ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico arênico - Campinarana Arborizada</b>												
A (0-10)	7,15	0,15	0,01	0,00	0,28	0,19	0,05	0,10	0,95	0,26	0,01	0,56
Bh (60-80)	9,87	0,63	0,00	0,00	0,41	0,65	0,00	0,06	0,57	1,17	0,00	0,63
Bhs (80-100)	11,93	6,60	0,19	0,02	1,55	5,94	0,25	0,05	1,27	4,22	0,16	0,18
<b>P3 ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico espessarênico - Campinarana Gramíneo-Lenhosa (Duna)</b>												
O (4-0)	6,17	0,14	0,02	0,07	0,33	0,08	0,06	0,14	0,59	0,08	0,00	0,50
E2 (9-21)	7,46	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,01	0,02	0,61	0,02	0,00	0,56
Bh (31-36/131)	9,21	0,09	0,16	0,03	0,22	0,18	0,23	0,09	0,66	0,43	0,26	0,51
<b>P4 ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico dúrico - Campinarana Arborizada</b>												
E (0-20/25)	7,50	0,00	0,00	0,02	0,20	0,00	0,00	0,08	0,76	0,03	0,00	0,74
Bh (20-25)	6,45	0,62	0,01	0,02	0,32	0,87	0,02	0,04	0,67	1,09	0,05	0,47
Bs (115-170)	10,65	0,90	0,00	0,02	0,51	0,96	0,00	0,08	0,63	2,13	0,05	1,34
<b>P5 ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico arênico - Campinarana Florestada</b>												
A (0-4)	6,46	0,72	0,01	0,05	0,27	0,86	0,07	0,09	0,95	1,07	0,01	0,66
Bh (16-62)	11,00	1,01	0,00	0,01	0,43	1,14	0,00	0,06	0,57	2,08	0,04	0,85
BC (62-76)	11,11	1,30	0,03	0,01	0,48	1,46	0,13	0,07	0,56	2,52	0,13	0,97
<b>P6 ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico arênico - Campinarana Arborizada</b>												
A1 (0-8)	7,34	0,00	0,00	0,02	0,50	0,00	0,00	0,04	0,71	0,00	0,01	0,76
E (19-49)	7,47	0,00	0,05	0,03	0,43	0,00	0,06	0,03	0,62	0,00	0,03	0,88
EC (49-70)	7,54	0,00	0,00	0,03	0,30	0,00	0,00	0,03	0,54	0,03	0,00	0,46
Bh2 (81-92)	9,20	0,16	0,00	0,05	0,43	0,15	0,00	0,04	0,46	0,37	0,00	0,40
Bhs (92-104+)	10,73	0,75	0,00	0,02	0,56	0,64	0,00	0,04	0,47	0,95	0,00	0,30
<b>P7 NEOSSOLO QUARTZERÊNICO Hidromórfico espódico - Campinarana Gramíneo-Lenhosa</b>												
EC (0-15)	7,39	0,00	0,00	0,04	0,35	0,00	0,00	0,06	0,56	0,00	0,00	0,71
C1 (15-85)	7,44	0,00	0,00	0,03	0,31	0,00	0,00	0,03	0,64	0,00	0,00	0,52
C2 (85-100)	7,43	0,00	0,00	0,06	0,26	0,00	0,00	0,04	0,58	0,00	0,00	0,57

As análises dos difratogramas de raio-X dos horizontes diagnósticos indicaram para todos os perfis de Espodossolos (P1-P6) uma mineralogia predominantemente caulínica na fração argila (Tabela 5), com reflexões em 7,22 Å e 3,58 Å (Figura 2). Verifica-se também para todos os perfis, a ocorrência de traços de quartzo (3,34 Å). O material de origem com retrabalhamento eólico, de idade Plio-Pleistocênica (BRASIL, 1975), proveniente desses solos está associado à presença do quartzo nesta fração.

Nos perfis 1,2, 5 e 6 nos horizontes espódicos verifica-se a ocorrência de traços de gibbsita, com reflexões em 4,82 Å a 4,86 Å (Tabela 5). A presença deste mineral pode ser associada ao COT elevado, e sugere uma possível neoformação *in situ*, por meio da biodegradação da matéria orgânica (VOLKOFF et al., 1984).

Tabela 5 - Relações entre as dissoluções seletivas e mineralogia dos perfis de solos estudados, no PARNA do Viruá, Roraima.

Horizontes e profundidade (cm)	(Al <sub>O</sub> -Al <sub>P</sub> ) / Si <sub>O</sub>	Al <sub>O</sub> -Al <sub>P</sub>	Fe <sub>O</sub> / Fe <sub>DCB</sub>	Al <sub>P</sub> / Al <sub>O</sub>	Fe <sub>P</sub> / Fe <sub>O</sub>	Al <sub>O</sub> + 1/2 Fe <sub>O</sub>	Mineralogia* (fração argila)
<b>P1- ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico arênico</b>							
O (0-10)	0,01	0,00	1,76	1,00	0,03	1,34	
A/E (15-23)	-3,59	-2,02	0,89	2,32	1,02	1,76	Ct>Qz>Gb
Bhs (80-120)	-	-5,00	0,27	11,53	2,58	0,57	Ct>VHE=Gb>Qz
Bs (120-180 <sup>+</sup> )	0,28	0,24	0,09	0,83	0,83	1,47	Ct>VHE=Gb>Qz
<b>P2 ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico arênico</b>							
A (0-10)	-0,39	-0,11	0,15	1,73	2,00	0,15	
Bh (60-80)	-1,32	-0,53	-	1,84	-	0,63	
Bhs (80-100)	1,54	2,38	0,76	0,64	0,80	6,70	Ct>Qz>Gb
<b>P3 ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Órtico espessarênico</b>							
O (0-4)	0,16	0,05	0,38	0,61	0,00	0,15	
E2 (13-25)	-0,03	-0,02	0,00	-	-	0,00	
Bh (35-40/135)	-1,58	-0,34	0,68	4,81	1,66	0,17	Ct>Qz
<b>P4 ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico dúrico</b>							
E (0-20/25)	-0,15	-0,03	-	-	-	0,00	
Bh (20-25)	-1,47	-0,48	0,42	1,77	6,75	0,62	
Bs (115-170)	-2,44	-1,23	-	2,37	-	0,90	Ct>Qz
<b>P5 ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico arênico</b>							
A (0-4)	-1,26	-0,35	0,08	1,48	1,20	0,73	
Bh (16-62)	-2,49	-1,07	-	2,06	-	1,01	Ct>Qz>Gb
BC (62-76)	-2,52	-1,22	0,20	1,93	5,08	1,32	Ct>Qz>Gb
<b>P6 ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico arênico</b>							
A1 (0-8)	0,00	0,00	-	-	-	0,00	
E (19-49)	0,00	0,00	0,75	-	0,60	0,02	
EC (49-70)	-0,10	-0,03	-	-	-	0,00	
Bh2 (81-92)	-0,47	-0,20	-	2,23	-	0,16	Ct>Qz>Gb
Bhs (92-104 <sup>+</sup> )	-0,36	-0,21	-	1,27	-	0,75	Ct>Qz>Gb
<b>P7 NEOSSOLO QUARTZERÊNICO Hidromórfico espódico</b>							
EC (0-15)	0,00	0,00	-	-	-	-	
C1 (15-85)	0,00	0,00	-	-	-	-	
C2 (85-100)	0,00	0,00	-	-	-	-	

\* Ct – caulinita; Qz – quartzo; Gb – gibbsita; VHE – vermiculita com hidroxí-entrecamada

Apenas no perfil 1, nos horizontes espódicos, verifica-se a presença de traços de vermiculita com hidroxí-entrecamadas, com reflexões de 14,2-14,6 Å (Tabela 5 e Figura 2). De acordo com Rich (1968), a formação parcial dos minerais com hidroxí-entrecamadas pode inibir a formação da gibbsita, descrito por Jackson (1963) como um efeito “antigibbsítico”. No entanto, outros estudos explicam que a coexistência desses minerais nos solos é associada a diferentes fases de intemperismo (NDAYIRAGIJE e DELVAUX, 2003). A presença de minerais 2:1 na composição mineralógica do perfil 1 é uma forte evidência da proveniência do material de origem, o qual corresponderia, em sua maioria, a mantos arenosos profundos, formados por pedogênese *in situ* de sedimentos Cenozóicos ou rochas ígneas e metamórficas, como demonstram os estudos no Estado do Amazonas (ALTEMULLER e KLINGE, 1964; LUCAS et al., 1984; BRAVARD e RIGHI, 1990; ANDRADE et al. 1997).

Alguns estudos realizados na Guiana Francesa e no Brasil têm mostrado que os Espodosolos podem ser formados pela transformação de uma cobertura latossólica inicial, sobre vários tipos de material de origem (LUCAS et al., 1984; ANDRADE, 1990; DUBROEUCQ et al., 1991), sendo o Espodosolo considerado como um estágio final de degradação das coberturas pedológicas tropicais (BOULET et al., 1984). Outros estudos apontam para um desenvolvimento dos solos no sentido dos Espodosolos para a formação de Organossolos, com camadas espessas de turfeiras (BONIFACIO et al., 2006; DUBROEUCQ e VOLKOFF, 1998), muitas vezes associadas ao regime severo de inundações frequentes.

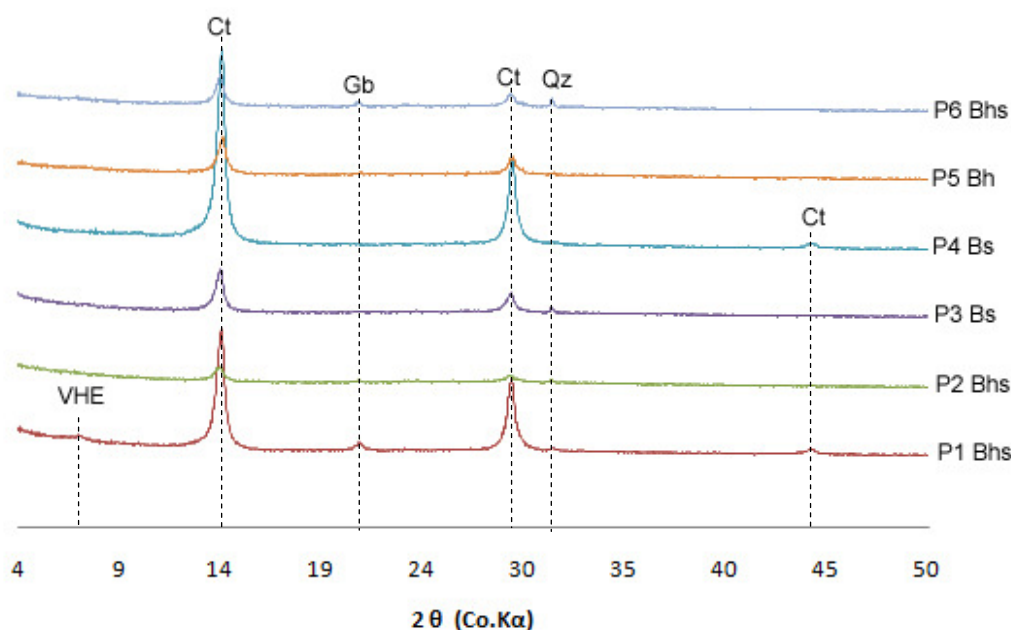


Figura 2 – Difratogramas de raio-X da fração argila (argila natural) dos horizontes espódicos dos solos estudados (Ct – caulinita; Qz – quartzo; Gb – gibbsita; VHE – vermiculita com hidróxi-entrecamada).

## CONCLUSÕES

1) Os solos estudados são pobres quimicamente e muito arenosos, dominados por areia fina, com evidências do processo de podzolização e mudanças nítidas das propriedades em curtas distâncias. Tais características corroboram com o oligotrofismo típico destes ambientes, onde a vegetação se apresenta aberta e com porte reduzido.

2) No gradiente fitofisionômico Campinarana Florestada, Arborizada e Gramíneo-Lenhosa, o decréscimo do carbono orgânico nos solos e nas substâncias húmicas acompanha a diminuição da biomassa vegetal. No PARNA do Viruá, o relevo regional plano com solos arenosos de natureza quartzosa implica em condições

favoráveis para o acúmulo e a humificação da MOS.

3) Os dados isotópicos da fração AH sugerem a predominância de uma vegetação arbóreo-arbustiva do tipo C3, durante os períodos mais secos do Holoceno. A distribuição espacial dos Espodosolos é relacionada às formações com predominância de carbono proveniente das espécies do tipo C3, principalmente nos horizontes superficiais.

4) Nos Espodosolos a participação das formas metálicas de baixa cristalinidade ligadas ao Al é maior que em relação às formas ligadas ao Fe. Os solos estudados possuem diferentes níveis de podzolização, com características semelhantes quanto ao caráter humilúvico.

5) Há indícios de ocorrência de imogolita em alguns solos no PARNA do Viruá, indicada pelas análises de dissoluções químicas seletivas. A mineralogia da fração argila, possivelmente, indica a presença de minerais neoformados (gibbsita) e herdados da pedogênese *in situ* do material de origem (minerais 2:1 com hidroxí-entrecamadas).

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Áreas Protegidas da Amazônia (Programa ARPA), ao ICMBio (Roraima), à equipe do PARNA do Viruá e ao CNPq pelo apoio e financiamento deste trabalho.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AB´SABER, A.N. Espaços ocupados pela expansão dos climas secos na América do Sul, por ocasião dos períodos glaciais quaternários. **Paleoclimas**, nº 3, Instituto de Geografia, USP. São Paulo. 1977.

ABSY, M.L. Palynology of Amazonia: the history of the forests as revealed by the palynological record. **In:** Amazonia. Prance, G.T. e Lovejoy, T.E. (eds.). Pergamon Press, Oxford, Reino Unido, 1985. 442 p.

ALVAREZ V., V.H., NOVAIS, R.F., DIAS, L.E., OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n.25, p.27-32, 2000.

ANDERSON, H.A., BERROW, M.L., FARMER, V.C., HEPBURN, A., RUSSELL, J.D., WALKER, A.D., A reassessment of podzol formation processes. **Journal of Soil Science**, 33, 125–136. 1982.

ANDRADE, H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; DEMATTÊ, J. L. I.; ANDRADE, F. V. Pedogeomorfologia e micropedologia de uma seqüência de Latossolo – Areia Quartzosa

Hidromórfica sobre rochas cristalinas do Estado do Amazonas. **Genomos**. Belo Horizonte, 5(1): 55-66. 1997.

BENITES, V.M.; COELHO, M.R.; MENDONÇA-SANTOS, M.L.; SOUZA, L.F.; MADARI, B.; MACHADO, P.L.O.A.; SILVA, E.F.; TROMPOWSKY, P.M., SANTOS, H.G. Fracionamento de substâncias húmicas em espodossolos do estado do Rio de Janeiro. **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, 29., Ribeirão Preto, 2003. Anais. Ribeirão Preto, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. CD-ROM.

BENITES, V.M.; SCHAEFER, C.E.G.R.; MENDONÇA, E.S., MARTIN NETO, L. Caracterização da matéria orgânica e micromorfologia de solos sob campos de altitude no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:661-674, 2001.

BRASIL, Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL - Levantamento dos Recursos Naturais. **Folha NA. 20 Boa Vista e parte das Folhas NA -21 Tumuquaque, NB – 20 Roraima e NB – 21**, Rio de Janeiro, v.8, 428 p. 1975.

BRAVARD, S.; RIGHI, D. Micromorphology of an Oxisol-Spodosol catena in Amazonia. **In: L. A. Douglas Soil Micromorphology: a basic and applied science. Developments in Soil Science 19**, Elsevier, Amsterdã. 1990. Pp 169-174. 1990.

BRINKMAN, R. Ferrollysis, a hydromorphic soil forming process. **Geoderma**, Amsterdam, 3:199-206, 1970.

BUOL, S.W.; HOLE, F.D., MC CRACKEN, R.J. **Soil genesis and classification**. Ames, Iowa State University Press, 1980. 404p.

BUTTON, T.W. Stable carbon isotope ratios of natural materials, I. Sample preparation and mass spectrometric analysis. **In: Coleman, D.C., Fry, B.\_Eds., Carbon Isotope Techniques**. Academic Press, New York, pp. 155–171. 1991.

BUTTON, T.W., ARCHER, S.R., MIDWOOD, A.J., ZITZER, S.F., BOL, R.  $\delta^{13}\text{C}$  values of soil organic carbon and their use in documenting vegetation change in a subtropical savanna ecosystem. **Geoderma** 82, 5–41. 1998.

BUURMAN, P., VAN REEUWIJK, L.P. Allophane and the process of podzol formation—a critical note. **Journal of Soil Science**, 35, 447– 452. 1984.

BUURMAN, P.; JONGMANS, A.G. Podzolisation and soil organic matter dynamics. **Geoderma**, 125 (2005) pag. 71–83.

CARNEIRO FILHO A., TATUMI S.H., YEE M. 2003. Dunas Fósseis na Amazônia. **Ciência Hoje-SBPC**, 191:24-29.

COLINVAUX, P. A., OLIVEIRA, P. E., MORENO, J. E., MILLER, M. C., and BUSH, M. B. A long pollen record from lowland Amazonia: Forest and cooling in glacial times. **Science** 274, 85–88. 1996.

CPRM, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. **Projeto de Mapeamento Geológico / Metalogenético Sistemático Caracarái**, Folhas NA.20-Z-B e NA.20-Z-D inteiras e parte das folhas NA.20-Z-A, NA.20-Z-C, NA.21-Y-C e NA.21-Y-A. Estado de Roraima. Escala 1:500.000. Brasília: 2000.

DE CONINCK, F., 1980. Major mechanisms in formation of spodic horizons. **Geoderma** 24, 101– 128

DEFELIPO, B.V.; RIBEIRO, A.C. **Análise Química do Solo**. 2ª ed. Viçosa, MG. UFV, 1997.26p. (Boletim de extensão, 29)

DUBROEUCQ, D., VOLKOFF, B. Évolution des couvertures pédologiques sableuses à podzols géants d'Amazonie (Bassin du Haut rio Negro). **Cah. ORSTOM**, sér. Pedol., vol. XXIV, no 3, 1988 : 191-214

DUBROEUCQ, D., VOLKOFF, B. From Oxisols to Spodosols and Histosols: evolution of the soil mantles in the rio Negro basin (Amazonia). **Catena**, 32:245-280, 1998.

EHLERINGER, J.R., MONSON, R.K. Evolutionary and ecological aspects of photosynthetic pathway variation. **Annual Review of Ecology and Systematics** 24, 411–439. 1993.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2ª. Ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 2006.

FAO. **FAO/Unesco Soil map of the World**: revised legend. Wageningen: International Soil Reference and Information Centre, 1989. 138p. (ISRIC Technical Paper, 20). Reprint of World Soil Resources Report 60, FAO, Rome, 1988.

FARMER, V.C., RUSSELL, J.D., BERROW, M.L. 1980. Imogolite and proto-imogolite allophane in spodic horizons: evidence for a mobile aluminium silicate complex in podzol formation. **Journal of Soil Science**, 31, 673–684

FONTANA, A.; BENITES, V.M.; PEREIRA, M.G., ANJOS, L.H.C. Substâncias húmicas como suporte à classificação de solos Brasileiros. **Revista Brasileira Ciência Solo**, 32:2073-2080, 2008.

FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; BENITES, V.M. Quantificação e utilização das frações húmicas como característica diferencial em horizontes diagnósticos de solos brasileiros. **Revista Brasileira Ciência Solo**, 34:1241-1257, 2010.

GOMES, F.H.; TORRADO, P.V.; MACIAS, F.; GHERARDI, B., PERES, J.L.O. Solos sob vegetação de restinga na Ilha do Cardoso (SP). I - caracterização e classificação. **Revista Brasileira Ciência Solo**, 31:1563-1580, 2007.

GOMES, J.B.V.; RESENDE, M.; REZENDE, S.B. de; MENDONÇA, E. de S. Solos de três áreas de restinga: II. dinâmica de substâncias húmicas, ferro e alumínio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.11, p.1907-1919, nov. 1998.

HABERLE, S. G., MASLIN, M. A. (1999). Late Quaternary vegetation and climate change in the Amazon Basin based on a 50,000 year pollen record from the Amazon Fan, ODP Site 932. **Quaternary Research**, 51, 27–38.

HOLZHEY, C.S.; DANIELS, R.B.; GAMBLE, E.E. Thick Bh horizons in the North Carolina Coastal Plain: II. Physical and chemical properties and rates of organic additions from surface sources. **Soil Science Society of America**. Proceedings, v.39, p.1182-1187, 1975.

JENNY, H. **The soil resource**: origin and behavior (Ecological studies, v.37). New York: Springer-Verlag, 1980. 377 p.

LITTLE, I.P. Mobile iron, aluminium and carbon in sandy coastal podzols of Fraser Island, Australia: a quantitative analysis. **Journal of Soil Science**, v.37, p.439-454, 1986.

LUCAS Y.; CHAUVEL A.; BOULET R.; RANZANI G., SCATOLINI F. Transição Latossolos-podzóis sobre a formação Barreiras na região de Manaus, Amazônia. **Revista Brasileira Ciência Solo**, 8:325-335, 1984.

LUNDSTRÖM, U.S., VAN BREEMEN, N., BAIN, D. The podzolization process: a review. **Geoderma**, 94, 2000, pag. 91-107.

MALCOLM, R.L.; McCracken, J. Canopy drip: a source of mobile soil organic matter for mobilization of iron and aluminum. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.32, p.834-838, 1968.

MARTINELLI, L. A., PESSENDA, L. C. R., ESPINOZA, E., CAMARGO, P. B., TELLES, E. C., CERRI, C. C., VICTORIA, R. L., ARAVENA, R., RICHEY, J., TRUMBORE, S. Carbon-13 variation with depth in soils of Brazil and climate change during the Quaternary. **Oecologia** 106, 376–381. 1996.

McKEAGUE, J.A.; DAY, J.H. Dithionite and oxalate extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. **Canadian Journal of Soil Science**, v.46, p.13-22, 1966.

MEHRA, O.P.; JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. **In: NATIONAL CONFERENCE ON CLAYS AND CLAYS MINERALS**, 7., 1960, Washington, D.C. Proceedings ... New York: Pergamon Press, 1960. p.317-327.

- MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. da S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa: UFV, 107 p. 2005.
- NADELHOFFER, K.J., FRY, B. Controls on natural nitrogen-15 and carbon-13 abundances in forest soil organic matter. **Soil Science Society of America Journal**, 52, 1633–1640. 1988.
- NARDOTO, G.B. **Abundância Natural de 15N na Amazônia e Cerrado – implicações para ciclagem de nitrogênio**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz ESALQ/USP (Tese de Doutorado). Piracicaba, 2005. 100p.
- NORDT, L.C., BOUTTON, T.W., HALLMARK, C.T., WATERS, M.R. Late Quaternary vegetation and climate changes in central Texas based on the isotopic composition of organic carbon. **Quaternary Research**, 41, 109–120. 1994.
- OLIVEIRA, A.P.de, KER, J.C., SILVA, I.R.da, FONTES, M.P.F., OLIVEIRA, A.P. de, NEVES, A.T.G. Spodosols Pedogenesis under Barreiras Formation and sandbank environments in the south of Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:847-860, 2010.
- O'LEARY, M.H. Carbon isotopes in photosynthesis. **BioScience** 38, 328–336. 1988.
- PEARCY, R. W., BJORKMAN, O., CALDWELL, M. M., KEELEY, J. E., MONSON, R. K., STRAIN, B. R. Carbon gain by plants in natural environments. **Bio Science** 37, 21–29. 1987.
- PESSENDA, L. C. R., ARAVENA, R., MELFI, A. J., TELLES, E. C. C., BOULET, R., VALENCIA, E. P. E., TOMAZELLO, M. (1996a). The use of carbon isotopes (<sup>12</sup>C, <sup>13</sup>C, <sup>14</sup>C) in soil to evaluate vegetation changes during the Holocene in central Brazil. **Radiocarbon**, 38, 191–201.
- PETERSEN, L. Podzols and podzolization. Ph. D thesis. **Royal Veterinary and Agricultural**, University, Copenhagen. 1976.
- PRANCE, G. 1985. The Changing Forests. **In: Key Environments – Amazonia**, Oxford: Pergamon Press, pp. 146-165.
- RUIZ, H.A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29. p.297-300. 2005.
- SANFORD, R.L.; SALDARRIAGA, J.G.; CLARK, K.E.; UHL, C.; HERRERA, R. 1985. Amazon rain-forest fires. **Science**, 227: 53-55.
- SANTOS, J.O.S; NELSON, B.W. 1995. Os campos de dunas do Pantanal Setentrional. **In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO**, 8, Caracas, 1995. Temário 4 (dunas.doc). Caracas, Venezuela. 9 p.

SANTOS, R. D., LEMOS, R.C., SANTOS, H. G. dos, KER, J. C., ANJOS, L. H. C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5ª. edição (revisada e ampliada) Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 2005.

SCHAEFER C. E. G. R.; AMARAL, E. F. do; MENDONÇA, B. A. F. de; OLIVEIRA; H.; LANI, J. L.; COSTA, L. M.; FERNANDES FILHO, E. I. Soil and vegetation carbon stocks in Brazilian Western Amazonia: relationships and ecological implications for natural landscapes. **Environ Monitorament Assesment**. v. 2007, p. 1-15, 2007

SCHAETZL, R.; ANDERSON, S. **Soils: genesis and geomorphology**. United Kingdom: 621 University Press, Cambridge, 2005. 799p.

SCHWERTMANN, U.; KODAMA, H., FISCHER, W.R. Mutual interactions between organics and iron oxides. **In:** HUANG, P.M., SCHNITZER, M., eds. Interactions of soil minerals with natural organics and microbes. 2.ed. Madison, Soil Science Society of America, 1986. 606p.

SIEFFERMANN, G., TRIUTOMO, S., SADELMAN, M.T., KRISTIJONO, A. AND PARHADIMULYO, S.A., The peat genesis in the lowlands of Central Kalimantan province, The respective influence of podzolisation and bad drainage, the two main processes of peat genesis in Kalimantan, International Peat Congress, Yogyakarta, **ORSTOM**, Yogyakarta: 17 pp. 1987.

SKJEMSTAD, J.O.; WATERS, A.G.; HANNA, J.V.; OADES, J.M. Genesis of Podzols on coastal dunes in Southern Queensland. IV. Nature of the organic fraction as seen by <sup>13</sup>C nuclear magnetic resonance spectroscopy. **Australian Journal of Soil Research**, v.30, p.667-681, 1992b.

SOIL SURVEY INVESTIGATIONS REPORT No. 42. **Soil Survey Laboratory Methods Manual**, version 4.0, November, 2004. USDA-NRCS

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to soil taxonomy**. 6.ed. Washington, DC, 1999. 306p.

SWIFT, R. S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D. L. Ed. Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. Soil Sci. Soc. Am. Book Series: 5. **Soil Science Society of America Madison**, 1996. P. 1018-1020.

VELOSO, H.P.; RANGEL FILHO, A.L.R.; LIMA, J.C.A. **Classificação da Vegetação Brasileira, adaptada a um Sistema Universal**. Rio de Janeiro. IBGE, 1991.

VIDOTTO, E., PESSEDA, L.C.R., RIBEIRO, A. de S., FREITAS, H.A.de José BENDASSOLLI A. Dinâmica do ecótono floresta-campo no sul do estado do Amazonas no Holoceno, através de estudos isotópicos e fitossociológicos. **Acta Amazônica**. Vol. 37(3) 2007: 385 – 400. 2007.

WADA, K. Allophane and imogolite. In: Minerals in Soil Environments, 2nd edn (eds J.B. Dixon, S.B. Weed), pp. 603- 638. **Soil Science Society of America**, Madison, WI. 1989.

YEOMANS, J. C., BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. Commun. **Soil Science Plant Anal.** 19(13): 1467-1476. 1988.

## CAPÍTULO IV

### RELAÇÕES SOLO-VEGETAÇÃO E FITOSSOCIOLOGIA EM GRADIENTE FITOFISIONÔMICO FLORESTA-CAMPINARANA NO PARQUE NACIONAL DO VIRUÁ, RORAIMA

#### RESUMO

O Parque Nacional (PARNA) do Viruá compreende um vasto e complexo sistema de solos arenosos e hidromórficos, cobertos em sua maior parte pelo ecossistema das Campinaranas. O presente estudo teve como objetivo estudar um gradiente fitofisionômico Floresta-Campinarana no PARNA do Viruá, com destaque para as principais relações solo-vegetação. Foram instaladas nove parcelas de modo a contemplar três unidades fitofisionômicas para levantamento florístico e fitossociológico, bem como para coleta de amostras compostas de solo. Os dados foram submetidos aos cálculos de diversidade e similaridade florística, parâmetros fitossociológicos e análises estatísticas, com destaque para a análise de correspondência canônica (CCA). As fitofisionomias das Campinaranas e as Florestas apresentam diferenças na biomassa e na densidade de espécies. Destacam-se no total 10 espécies endêmicas do Brasil, sendo algumas típicas da região Amazônica. Na CCA foi observada clara distinção entre as parcelas estudadas, sendo as variáveis ambientais soma de bases, argila e areia fina as mais determinantes na distinção Campinarana-Floresta; para a separação das Campinaranas, tem-se com variável principal o teor de P. A granulometria mais fina (argilosa) dos solos é determinante para a distinção das fitofisionomias das Florestas em relação às Campinaranas.

**Palavras-chave:** Amazônia, Campinaranas, Fitossociologia, Relação Solo-Vegetação e Correlação Canônica

## INTRODUÇÃO

O Parque Nacional (PARNA) do Viruá, localizado no centro-sul do Estado de Roraima, na região do baixo Rio Branco, ocupa 227.011 ha cobertos em sua maior parte pelo ecossistema de Campinaranas, com cerca de 60% da área do Parque (SCHAEFER et al., 2009). As Campinaranas são formações vegetais encontradas na região amazônica, típicas das áreas de clima úmido e solos arenosos predominantemente hidromórficos. Caracterizam-se por uma paisagem marcante, de exceção à Floresta Tropical envolvente. São fortemente influenciadas pelos ciclos sazonais e pelas variações nos níveis do lençol freático, em gradações fitofisionômicas associadas a diferentes níveis de hidromorfismo. Conforme aumenta o encharcamento dos solos, as Campinaranas Florestadas são substituídas por formações de Campinarara Arborizada, passando pelas Gramíneo-Lenhosas até puramente Herbáceas, com feição de campo brejoso (GRIBEL et al., 2009; SCHAEFER et al., 2009).

Situada sobre extensas manchas de solos arenosos, as Campinaranas se distribuem desde o alto Rio Negro, além do norte-noroeste do Brasil até a região de Vaupés e Caquetá na Colômbia, ao sul da Venezuela, em grandes áreas no alto Tapajós, perto da margem direita do Rio Madeira, e ainda, em pequenas manchas, como enclaves de vegetação, no sudoeste da Amazônia (IBGE, 1992; DUIVENVOORDEN, 1996; OLIVEIRA e DALY, 2001; ALONSO, 2002; SILVEIRA, 2003; POLETO e ALEIXO, 2005). Na Amazônia peruana, uma vegetação similar também sobre solos arenosos é denominada “*varillales*”, já nas Guianas são conhecidas como florestas de “*wallaba*” (ANDERSON, 1981; OLIVEIRA e DALY, 2001; ALONSO, 2002). Na planície costeira do litoral brasileiro, as florestas de restinga, apresentam fisionomia muito semelhante às campinaranas, com algumas espécies e muitos gêneros de plantas em comum (ANDERSON, 1981; OLIVEIRA e DALY, 2001; BOEGER e WISNIEWSKI, 2002). Na região norte do Estado do Espírito Santo e sul do Estado da Bahia ocorre vegetação similar conhecidas com Mussunungas, com fitofisionomias semelhantes e muitas espécies e gêneros em comum (MEIRA-NETO, 2005; SARCINELLI, 2010; SAPORETTI-JUNIOR et al., 2011)

Em algumas regiões, as Campinaranas constituem formações monodominantes, onde a maioria dos indivíduos pertence a uma única espécie. Na Guiana, existem formações dominadas por *Eperua falcata*, já no alto curso do Rio Negro, tanto na Venezuela como no Brasil, ocorrem formações com dominância do curuni (*Micrandra spruceana*) (OLIVEIRA e DALY, 2001). Pires (1973) utiliza o termo Umirizal para

chamar as formações com predomínio da *Humiria floribunda*. Lisbôa (1975) cita o termo Macucuzal, onde predominam a *Aldina heterophylla* ou *Aldina latifolia*. No entanto, outras localidades podem apresentar espécies que se destacam sem demonstrar nenhuma dominância. Por toda a Bacia do Rio Negro existem também formações monodominantes de palmeiras, também sobre solos arenosos e encharcados como, por exemplo, as imensas áreas de interflúvios do Parque Nacional do Jaú, dominadas pelo caranã (*Mauritia carana*) (OLIVEIRA e DALY, 2001). No Parque Nacional do Viruá ocorrem também formações dominadas pelo buriti (*Mauritia flexuosa*).

Do ponto de vista pedológico, as Campinaranas compreendem um grande domínio de Espodossolos e Neossolos Quartzarênicos, desenvolvidos sobre areias quartzosas resultantes da hidrólise das argilas e/ou empobrecimento pela perda de argilas ou pela erosão seletiva (BRAVARD e RIGHI, 1990). Alguns estudos realizados na Guiana Francesa e no Brasil têm mostrado que os Espodossolos podem ser formados pela transformação de uma cobertura latossólica inicial, sobre vários tipos de material de origem (LUCAS et al., 1984; ANDRADE, 1990; DUBROEUCQ et al., 1991), sendo o Espodossolo considerado como um estágio final de degradação das coberturas pedológicas tropicais (BOULET et al., 1984). Outros estudos apontam para um desenvolvimento dos solos, no sentido dos Espodossolos para a formação de Organossolos, com camadas espessas de turfeiras (BONIFACIO et al., 2006; DUBROEUCQ e VOLKOFF, 1998), muitas vezes associadas ao regime severo de inundações frequentes.

Nas áreas de contato com as Florestas Ombrófilas, na transição para as coberturas de solos latossólicos, as Campinaranas apresentam-se em feições transicionais. No PARNA do Viruá predominam feições de tensão ecológica (ecótonos) das Florestas Ombrófilas Abertas das Terras Baixas (BRASIL, 1975). Neste sentido, o presente estudo teve como objetivo estudar um gradiente fitofisionômico no PARNA Viruá da Floresta Ombrófila Aberta até as formações de Campinaranas nos subgrupos Florestada e Arborizada, estabelecendo as principais relações solo-vegetação.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Área de estudo**

A área estudada contempla as seguintes unidades fitofisionômicas arbóreas do PARNA do Viruá, de acordo com a classificação de Veloso et al. (1991): Floresta Ombrófila Aberta (F); Campinaranas Florestadas (C) e Arborizadas (A) (Figura 1). A

sequência de ambientes esta distribuída nas seguintes coordenadas geográficas, respectivamente, 61°0'43''W e 1°28'52''N (F), 60°58' 30''W e 1°18'7''N (C), 60°58'27''W e 1°18'6''N (A).

Na classificação climática de Köppen, o clima do setor nordeste do Parque é Aw (verão úmido e inverno seco), onde se concentram as parcelas da Floresta Ombrófila Aberta. O setor centro-leste, onde estão as parcelas de Campinaranas, é definido na transição para Amw' (chuva do tipo monção). De modo geral, a região possui condição climática tipicamente equatorial com chuvas fortes e torrenciais, delimitados por um período seco de curta duração (BRASIL, 1975).

Nas parcelas de Floresta Ombrófila Aberta os solos são argilosos, desenvolvidos de rochas vulcânicas alcalinas do Grupo Iricoumé. Predominam o Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico câmbico em associação com Cambissolo Háplico Tb Distrófico, em relevo suave ondulado a ondulado.

Os solos predominantes das Campinaranas são desenvolvidos de material de origem retrabalhado proveniente do Pré-Cambriano, sedimentos de idade Plio-Pleistocênica. Estas unidades corresponderiam, em sua maioria, a mantos arenosos profundos, formados por pedogênese *in situ* de sedimentos Cenozóicos ou rochas ígneas e metamórficas, como demonstram os estudos no Estado do Amazonas (ALTEMULLER e KLINGE, 1964; ANDRADE *et al.*, 1997; BRAVARD e RIGHI, 1990; LUCAS *et al.*, 1984). As elevadas taxas de precipitação pluvial contribuem diretamente para os processos de podzolização e arenização dos solos que, por sua vez, são associados à elevada lixiviação e consequente empobrecimento químico (SCHAEFER *et al.*, 2007).

De maneira geral, o domínio das Campinaranas é caracterizado pelas feições diferenciadas por arenização, dentro dos padrões da superfície de aplainamento conservada do Pediplano Rio Branco-Rio Negro (BRASIL, 1975). O Baixo Rio Branco e grande parte do Rio Negro abrangem um amplo sistema palustre ou pantanoso em domínio de areias, a rigor um verdadeiro Pantanal Arenoso, batizado por Santos e Nelson (1995) como Pantanal Setentrional.

### ***Caracterização da Vegetação***

Duas fitofisionomias principais se destacam na paisagem do PARNA do Viruá, são elas: as Florestas Ombrófilas Abertas e as Campinaranas. As áreas dominadas por Floresta Ombrófila Aberta no Parque Viruá ocorrem nas serras baixas (Serra da Perdida

e Serra do Preto) e suas adjacências (Figura 1 - A), associadas a solos muito argilosos, provenientes de rochas vulcânicas ácidas. Por esta razão, estes ambientes são recobertas pela vegetação florestal, mapeada pelo Projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1975) como Área de Tensão Ecológica de Floresta Aberta, favorecida também pelos aspectos climáticos transicionais.

As Campinaranas estudadas se subdividem em duas fitofisionomias arbóreas, sob solos predominantemente arenosos: a Campinarana Florestada e Arborizada. Na Campinarana Florestada o nível do lençol freático, normalmente, não aflora em superfície o que permite um porte maior da vegetação constituída por uma fisionomia florestal com árvores relativamente finas (Figura 1 - B), com até 15 m de altura. As árvores possuem caules eretos, pouco ou nada tortuosos (Figura 1 - B) e formam um dossel quase contínuo, às vezes mais aberto. Nas Campinaranas Arborizadas o porte da vegetação é menor e mais raquítico (Figura 1 - C), mas muitas vezes com espécies e, comum com as Campinaranas Florestadas.

Destaca-se nas Campinaranas Arborizadas, a presença generalizada de cupinzeiros na base dos arbustos, onde apesar da elevada acidez, os teores de fósforo, soma de bases, CTC e MO são muito superiores aos horizontes minerais superficiais dos solos adjacentes (Tabela 1). Os termiteiros, nestas condições, além de disponibilizarem nutrientes permitem a boa aeração do solo e favorecem a fixação das plantas, nestes solos constantemente alagados.

### **Coleta e análises dos solos e serrapilheira**

Foram coletadas cinco amostras compostas de serrapilheira e de solo a 0 a 10 cm e 10 a 20 cm de profundidades, de forma representativa em todas as parcelas da Floresta Ombrófila, Campinarana Florestada e Arborizada. Toda serrapilheira coletada foi encaminhada ao laboratório para determinação da massa de matéria seca e análise dos teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, conforme Malavolta et al. (1997). O solo foi destorroado e peneirado em malha de 2 mm, visando obter amostras na forma de terra fina seca ao ar (TFSA) para serem submetidas à análises químicas e físicas de rotina, segundo Embrapa (1997).



Figura 1 – Vista geral da Serra da Perdida, sob o domínio da Floresta Ombrófila Aberta e perfil de Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, coletado na área da parcela sob Floresta Aberta (A); vista do interior de uma Campinarana Florestada e perfil de Espodossolo Humilúvico coletado na área (B); Campinarana Arborizada e perfil de Espodossolo Humilúvico, coletado sob esta vegetação (C); todos localizados no PARNA do Viruá, centro-sul de Roraima.

Tabela 1 – Análises químicas e físicas de uma sequência de solos estudados nas parcelas no Parque Nacional do Viruá, centro sul de Roraima.

Horizontes (cm)	pH H <sub>2</sub> O	----- mg dm <sup>-3</sup> -----				----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					t	T	V	m	MO	Prem	AG	AF	Sil	Arg
		P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	%										
<b>P1 – LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico câmbico – Floresta Ombrófila Aberta</b>																				
A (0-5)	4,09	1,9	22	0	0,1	0,55	0,86	5,3	0,71	1,57	6,01	11,8	54,8	2,18	41,3	35	30	15	20	
Bw (5-55)	4,62	0,3	0	0	0	0,51	1,05	3,9	0,51	1,56	4,41	11,6	67,3	1,28	35,1	26	28	17	29	
BC (55-90)	4,79	0,3	0	0	0	0,49	0,67	3,1	0,49	1,16	3,59	13,6	57,8	0,77	34,9	25	27	12	36	
Termiteiros*	4,35	2,2	38,3	1,6	0,7	0,90	1,4	11,3	1,73	3,12	13,0	12,6	49,7	8,74	32,0	22	20	20	38	
<b>P2 - ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Hidromórfico arênico – Campinarana Florestada</b>																				
O (0-10)	3,82	0,6	33	38,1	0,02	0,49	3,71	26,7	0,76	4,47	27,46	2,8	83	55,02	59,9	19	26	29	26	
A (10-15)	4,52	2,2	15	11,9	0	0,45	3,24	21,1	0,54	3,78	21,64	2,5	85,7	11,2	24,8	23	40	26	11	
AE (15-23)	4,95	2,1	3	0,9	0	0,42	1,43	11,9	0,43	1,86	12,33	3,5	76,9	4,8	18,6	18	51	23	8	
Bh (23-80)	5,29	0,6	0	0	0	0,43	0,67	9,3	0,43	1,1	9,73	4,4	60,9	3,84	12,1	16	47	27	10	
Bhs (80-120)	4,98	0,6	0	0	0	0,42	0,29	3,8	0,42	0,71	4,22	10	40,8	1,28	22,5	17	47	27	9	
C (120-180*)	4,75	0,4	0	0	0	0,41	0,19	1,6	0,41	0,6	2,01	20,4	31,7	0,26	46,6	20	45	20	15	
Termiteiros*	3,76	17,2	120,7	70,5	0,14	0,27	5,54	54,7	1,03	6,57	55,73	1,83	84	52,7	54,3	40	12	34	14	
<b>P3 - ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Hidromórfico arênico – Campinarana Arborizada</b>																				
A (0-10)	4,22	4,9	30	8,3	0,08	0,09	1,33	9,8	0,29	1,62	10,09	2,9	82,1	6,14	59,9	20	53	23	4	
E (10-60)	4,8	1	0	0	0,03	0,04	0,31	1,5	0,07	0,38	1,57	4,5	81,6	0	60	30	49	20	1	
Bh (60-80)	4,26	4,1	4	0	0,01	0,04	1,54	9,3	0,06	1,6	9,36	0,6	96,3	1,03	36,2	25	48	24	3	
Bhs (80-100)	4,82	1	0	0	0	0,04	1,33	2,5	0,04	1,37	2,54	1,6	97,1	2,58	7,1	22	46	24	8	
C1 (100-140)	4,69	0,5	1	0	0,17	0,04	0,51	2,2	0,21	0,72	2,41	8,7	70,8	0,13	44,4	18	48	20	14	
C2 (140-200)	4,79	0,4	1	0	0,06	0,04	0,51	1,7	0,1	0,61	1,8	5,6	83,6	0	47,9	18	49	19	14	
Termiteiros*	3,54	8,3	88,7	34,2	0,08	0,31	5,23	53,7	0,76	5,99	54,46	1,4	87,2	37,2	54,7	11	21	45	23	

\* Os dados correspondem à média de três amostras de termiteiros coletados no entorno do perfil, na mesma fitofisionomia.

### Análises químicas

O pH em água e em KCl 1 mol L<sup>-1</sup> foram determinados na suspensão solo:solução 1:2,5. As concentrações de cálcio, magnésio e o alumínio trocáveis serão extraídas com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, na proporção 1:20, e determinadas por espectrometria de absorção atômica. O potássio e sódio trocáveis foram extraídos com solução de Mehlich - 1 e determinados por fotometria de chama. O fósforo foi extraído com solução de HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 mol L<sup>-1</sup> (Mehlich - 1) e determinado por colorimetria na presença de ácido ascórbico (DEFELIPO e RIBEIRO, 1997). O ferro, zinco, manganês e cobre foram extraídos com solução Mehlich-1, e determinados por espectrometria de absorção atômica. A acidez potencial foi determinada por titulação com NaOH (0,025 mol L<sup>-1</sup>) da extração de acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> a pH 7,0. O Carbono Orgânico Total (COT) foi determinado pelo método de Yeomans e Bremner (1988) e o fracionamento das substâncias húmicas através do método adaptado de Swift (1996) (MENDONÇA e MATOS, 2005).

### **Análises físicas**

A granulometria foi determinada a partir da dispersão de 10 g de TFSA com NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> e agitação com 50 rpm durante 16 horas. Em seguida, as frações areia grossa e fina foram separadas por tamização em peneiras com malhas de 0,2 mm e 0,053 mm de abertura, respectivamente. A fração argila foi determinada pelo método da pipeta, e a fração silte calculada por diferença (RUIZ, 2005).

### **Análises estatísticas**

A partir do resultado das amostras de solos e serrapilheira coletados foi gerada a média e desvio padrão das variáveis químicas e físicas. Foram utilizadas um total de 15 repetições por fitofisionomia, sendo 5 repetições em cada parcela e 3 parcelas por fitofisionomia. Para a discussão dos dados químicos e físicos dos solos e da serrapilheira, as médias foram submetidas a um teste t ao nível de significância  $p < 0,05$ , comparando-se separadamente as médias de cada atributo do solo ou serrapilheira avaliado. O pacote estatístico utilizado foi o *Statistica 6* (STATSOFT Inc 2003).

Para a análise das correlações entre variáveis ambientais (atributos do solo na profundidade de 0 a 10 cm) e abundância de espécies utilizou-se a análise de correspondência canônica (CCA) (TER BRAAK 1987). A CCA permite uma análise de ordenação direta de gradientes, a qual explica a distribuição das espécies em relação às variáveis ambientais (TER BRAAK 1987; TER BRAAK 1995). Assim, foram elaboradas duas matrizes, a saber: uma matriz de vegetação com os valores de densidade das espécies por parcelas, e uma matriz ambiental com os dados analíticos dos solos. A análise foi realizada através do programa *Fitopac 2* (SHEPHERD, 1995).

Os valores da matriz de abundância das espécies foram transformados pelo seu logaritmo natural ( $x = \ln(y + 1)$ ), a fim de padronizar os dados de abundância das espécies, os quais possuem poucos valores elevados e muitos valores baixos (RODRIGUES et al., 2007). A matriz de vegetação foi composta de 26 espécies, sendo as dez espécies mais abundantes em cada fitofisionomia, e a matriz do solo, com as seguintes variáveis: Fósforo (P), Alumínio (Al), Soma de Bases Trocáveis (SB), Capacidade de Troca Catiônica a pH 7 (T), Matéria Orgânica (MO), Areia Grossa (AG), Areia Fina (AF) e Argila (Arg). Foi utilizado o teste de permutação de Monte Carlo para verificar a significância das correlações entre os padrões emergentes das espécies e variáveis ambientais na CCA.

## Florística e Fitossociologia

Para a amostragem da vegetação foram instaladas três parcelas de 20 x 20 m em cada fitofisionomia (Floresta Ombrófila Aberta, Campinarana Florestada e Campinarana Arborizada). Para a Floresta Ombrófila e a Campinarana Florestada, o limite de inclusão de Circunferência a Altura do Peito (CAP) foi maior que 10 cm. Na Campinarana Arborizada o limite de Circunferência a Altura do Solo (CAS) foi maior que 3 cm.

A identificação do material botânico foi realizada por meio de literatura especializada e comparação no Herbário do INP e depositadas no Herbário Departamento de Biologia Vegetal da Universidade Federal de Viçosa (VIC). Para atualização dos binômios específicos foram utilizados o índice de espécies do *Royal Botanic Gardens of Kew* (1993) e as informações disponíveis no *site* do *Missouri Botanical Garden* (disponível em: <http://www.mobot.org/W3T/search/vast.html>, no mês de outubro de 2009). A classificação adotada foi APG III (The Angiosperm Phylogeny Group, 2009).

O programa *Fitopac 2* (SHEPHERD, 1995) foi utilizado para o cálculo dos Índices de Diversidade de Shannon (BROWER e ZAR, 1984) e a equabilidade (PIELOU, 1975), bem como para definir os seguintes parâmetros fitossociológicos (MUELLER-DOMBOIS e ELLENBERG, 1974): Densidade Absoluta (DA), Densidade Relativa (DR), Dominância Absoluta (DoA), Dominância Relativa (DoR), Frequência Absoluta (FA), Frequência Relativa (FR), Valor de Cobertura (VC) e Valor de Importância (VI).

As fitofisionomias estudadas foram comparadas quanto à similaridade florística entre si. Foi construída uma matriz de presença e ausência das espécies, a partir da qual foi calculada a similaridade florística utilizando o índice de Sørensen (MUELLER-DOMBOIS e ELLENBERG, 1974). O dendrograma foi construído pelo método de agrupamento hierárquico aglomerativo de médias não ponderadas UPGMA (“*unweighted pair-groups method using arithmetic averages*”). A análise de similaridade foi realizada no programa *PC-ORD* (MC CUNE e MEFFORD 1999).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Relações Solo-Vegetação

#### *Caracterização química e física dos solos*

Os dados químicos e físicos dos solos para as três fitofisionomias estudadas são apresentados na Tabela 2, com a média e o desvio para cada variável do solo. De maneira geral, os solos são ácidos, com pH em médias de 4,12 a 4,86 nas camadas de 0-10 cm, no entanto, com diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre cada fitofisionomia. Nas camadas de 10-20 cm os solos apresentam pH pouco mais elevado, com variação entre 4,29 a 5,06, e com diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre a Floresta Ombrófila Aberta e as Campinaranas. As Campinaranas Florestadas destacam-se com o maior conteúdo de MO e de Saturação por Al (m) e Na nos solos, seguida pela Campinarana Arborizada e Floresta Ombrófila Aberta. Na camada de 0-10 cm a Campinarana Florestada possui conteúdo de MO e Al trocável com diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre as outras fitofisionomias. O P na Campinarana Florestada é mais que duas vezes maior que na Floresta Aberta e na Campinarana Arborizada, com diferenças significativas ( $p < 0,05$ ). Os teores de K e Ca trocáveis e a Soma de Bases (SB) aumentam em direção as fitofisionomias mais florestadas, associado ao aumento do conteúdo de argila. O aumento das bases trocáveis pode estar relacionado ao escoamento dos troncos da precipitação pluvial interna (ciclagem natural) e devido a ocorrências dos argilominerais mais ricos em bases.

As fitofisionomias das Campinaranas destacam-se pelo maior conteúdo de areia fina (duas vezes maior que na Floresta Ombrófila Aberta), de natureza areno-quartzosa, associado ao retrabalhamento eólico das rochas sedimentares da Formação Içá. Observa-se uma diminuição gradativa de argila nos solos da Floresta Ombrófila Aberta, para a Campinarana Florestada e Arborizada, respectivamente, e de maneira inversa com a areia fina; ambas (argila e areia fina) com diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre cada fitofisionomia. O maior conteúdo de argila nos solos da Floresta está associado ao material de origem dos solos, constituído de rochas vulcânicas básicas, ricas em feldspato.

Tabela 2 – Atributos químicos e físicos dos solos para as profundidades de 0-10 e 10-20 das fitofisionomias estudadas no PARNA Viruá, Roraima. Os dados são representados pela média entre as parcelas e os respectivos desvios padrão.

Atributos do solo	Floresta Ombrófila Aberta		Campinarana Florestada		Campinarana Arborizada	
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
<b>pH H<sub>2</sub>O</b>	4,12 ± 0,11 a	4,29 ± 0,19 A	4,86 ± 0,14 b	5,06 ± 0,17 B	4,39 ± 0,27 c	4,76 ± 0,21 B
<b>pH KCl</b>	3,66 ± 0,06 a	3,85 ± 0,08 A	3,86 ± 0,20 b	4,17 ± 0,18 B	3,08 ± 0,20 c	3,61 ± 0,18 C
<b>P (mg/dm<sup>3</sup>)</b>	1,79 ± 0,58 a	0,79 ± 0,39 A	3,63 ± 1,26 b	1,97 ± 0,93 AB	1,07 ± 0,44 c	0,69 ± 0,25 AC
<b>K (mg/dm<sup>3</sup>)</b>	46,87 ± 13,68 a	22,33 ± 9,66 A	17,67 ± 8,69 b	6,40 ± 6,39 A	8,20 ± 5,58 c	0,33 ± 0,62 B
<b>Na (mg/dm<sup>3</sup>)</b>	2,09 ± 1,84 a	0,52 ± 0,66 A	6,09 ± 4,80 bc	1,43 ± 2,69 A	3,45 ± 3,66 ac	0,13 ± 0,49 A
<b>Ca (cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>)</b>	0,26 ± 0,06 a	0,08 ± 0,04 A	0,03 ± 0,03 b	0,03 ± 0,03 AB	0,01 ± 0,01 c	0,00 ± 0,00 B
<b>Mg (cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>)</b>	0,73 ± 0,06 a	0,56 ± 0,05 A	0,44 ± 0,02 b	0,42 ± 0,02 B	0,47 ± 0,04 b	0,43 ± 0,01 B
<b>Al (cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>)</b>	1,46 ± 0,33 a	1,52 ± 0,47 A	2,34 ± 0,50 b	1,69 ± 0,39 A	1,26 ± 0,54 a	0,31 ± 0,18 B
<b>H+Al (cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>)</b>	7,61 ± 1,37 a	7,03 ± 2,75 A	14,52 ± 2,12 b	12,01 ± 1,98 A	8,26 ± 4,57 a	1,57 ± 0,29 B
<b>SB (cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>)</b>	1,12 ± 0,10 a	0,71 ± 0,09 A	0,55 ± 0,07 b	0,47 ± 0,05 B	0,51 ± 0,07 b	0,43 ± 0,02 C
<b>t (cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>)</b>	2,58 ± 0,30 a	2,22 ± 0,47 A	2,89 ± 0,55 a	2,16 ± 0,43 A	1,77 ± 0,60 b	0,74 ± 0,18 B
<b>T (cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>)</b>	8,72 ± 1,39 a	7,74 ± 2,77 A	15,07 ± 2,16 b	12,48 ± 2,01 A	8,77 ± 4,64 a	2,00 ± 0,30 B
<b>V (%)</b>	13,03 ± 1,93 a	9,93 ± 2,74 A	3,67 ± 0,43 b	3,81 ± 0,41 B	6,65 ± 1,86 c	21,94 ± 3,47 C
<b>m (%)</b>	56,00 ± 7,31 a	66,83 ± 8,44 A	80,52 ± 2,86 b	77,77 ± 2,99 A	69,65 ± 5,51 c	39,09 ± 11,42 B
<b>ISNA (%)</b>	0,35 ± 0,30 a	0,11 ± 0,15 A	0,88 ± 0,73 bc	0,23 ± 0,37 A	0,72 ± 0,65 ac	0,07 ± 0,25 A
<b>MO (dag/kg)</b>	4,37 ± 0,91 a	2,48 ± 0,91 A	6,97 ± 1,86 b	5,58 ± 1,15 B	5,15 ± 2,83 a	0,68 ± 0,26 C
<b>Prem (mg/L)</b>	33,78 ± 4,25 a	30,37 ± 4,10 A	16,19 ± 5,00 b	10,99 ± 3,84 B	58,83 ± 3,67 c	59,76 ± 0,82 C
<b>Zn (mg/dm<sup>3</sup>)</b>	1,20 ± 0,43 a	1,01 ± 0,34 A	0,81 ± 0,24 b	0,47 ± 0,23 AC	0,78 ± 0,40 b	0,38 ± 0,12 C
<b>Fe (mg/dm<sup>3</sup>)</b>	274,45 ± 59,24 a	201,71 ± 54,78 A	39,19 ± 10,73 b	25,80 ± 5,62 B	20,46 ± 6,44 c	9,15 ± 6,72 C
<b>Mn (mg/dm<sup>3</sup>)</b>	21,57 ± 11,22 a	16,45 ± 9,55 A	0,67 ± 0,37 b	0,67 ± 0,44 A	1,61 ± 1,58 c	0,46 ± 0,41 B
<b>Cu (mg/dm<sup>3</sup>)</b>	2,73 ± 0,67 a	2,73 ± 0,84 A	0,03 ± 0,08 b	0,00 ± 0,01 B	0,06 ± 0,08 b	0,02 ± 0,03 B
<b>AG (dag/kg)</b>	22,73 ± 6,85 a	23,13 ± 5,08 A	21,47 ± 3,89 a	19,13 ± 3,20 A	21,20 ± 4,35 a	31,93 ± 2,96 B
<b>AF (dag/kg)</b>	24,27 ± 4,82 a	19,47 ± 4,44 A	43,67 ± 3,52 b	45,33 ± 1,72 B	50,93 ± 4,53 c	50,07 ± 6,05 B
<b>Sil (dag/kg)</b>	18,27 ± 2,91 a	18,47 ± 1,96 A	24,20 ± 3,32 b	24,67 ± 2,99 BC	24,47 ± 6,55 b	16,87 ± 4,88 AC
<b>Arg (dag/kg)</b>	34,73 ± 9,53 a	38,93 ± 7,91 A	10,67 ± 1,59 b	10,87 ± 1,36 B	3,40 ± 2,41 c	1,13 ± 0,35 C

Teste de T; valores na mesma linha, para cada profundidade, seguidos de letras diferentes diferem entre si pelo teste de T, não pareado, a 5 %. As letras minúsculas representam as comparações entre as profundidades de 0-10 cm e as letras maiúsculas as profundidades de 10-20 cm.

As Campinaranas Arborizadas possuem desvios maiores para a quantidade de MO na superfície, em razão da fitofisionomia mais aberta, a qual condiciona um aporte mais esparso da biomassa vegetal. Os valores de K, Ca, Mg, saturação por bases, Zn, Fe, Mn, Cu e Argila na Floresta Ombrófila Aberta apresentam-se mais elevados que as fitofisionomias das Campinaranas, com diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) nas camadas de 0-10 cm. O  $P_{rem}$  nas Campinaranas Florestadas possui o menor valor e é associado ao maior teor de Al trocável e maior CTC, possivelmente em razão da ocorrência de materiais de baixa cristalinidade ricos em Al com forte adsorção por fosfatos.

### **Caracterização química da serrapilheira**

Os dados químicos da serrapilheira das fitofisionomias estudadas são apresentados na Tabela 3. Na análise química total da serrapilheira, a Campinarana Florestada apresentou o maior conteúdo de fósforo (P). O maior teor de P no solo para esta fisionomia (Tabela 2), em conjunto com o conteúdo da serrapilheira, sugere a incorporação do P orgânico na matriz do solo, certamente associado a materiais orgânicos mais humificados.

Tabela 3 – Atributos químicos da serrapilheira das três fitofisionomias estudadas no PARNA Viruá, Roraima. Os dados são representados pela média entre as parcelas e os respectivos desvios padrão, seguidos pelo teste T.

<b>Atributos da Serrapilheira</b>	<b>Floresta Ombrófila Aberta</b>	<b>Campinarana Florestada</b>	<b>Campinarana Arborizada</b>
N (dag/kg)	1,08 ± 0,33 a	1,13 ± 0,11 a	1,15 ± 0,13 a
P (dag/kg)	0,03 ± 0,01 a	0,04 ± 0,00 b	0,01 ± 0,00 c
K (dag/kg)	0,14 ± 0,08 a	0,08 ± 0,01 b	0,05 ± 0,00 c
Ca (dag/kg)	0,67 ± 0,16 a	0,08 ± 0,03 b	0,12 ± 0,06 c
Mg (dag/kg)	0,16 ± 0,07 a	0,04 ± 0,02 b	0,04 ± 0,02 b
Zn (mg/kg)	12,96 ± 3,77 a	6,31 ± 1,53 b	7,71 ± 1,51 c
Fe (mg/kg)	8293,63 ± 5959,46 a	96,63 ± 23,74 b	465,39 ± 253,23 c
Mn (mg/kg)	410,49 ± 173,70 a	34,69 ± 7,59 b	50,19 ± 31,23 b
Cu (mg/kg)	18,82 ± 7,25 a	2,03 ± 2,15 b	1,53 ± 0,60 b

*Teste de T; valores na mesma linha seguidos de letras minúsculas diferentes diferem entre si pelo teste de T, não pareado, a 5 %.*

A Campinarana Arborizada possui maior teor de N, seguido pela Campinarana Florestada e Floresta Aberta, no entanto, os valores não diferem entre si ao nível significância de  $p < 0,05$ . Para os elementos K, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn e Cu a Floresta Aberta apresentou teores significativos de 2 a 80 vezes maiores que as fisionomias das Campinaranas. O Ferro (Fe) apresentou valores muito elevados (80 vezes) para a

Floresta Aberta, possivelmente devido à presença de partículas minerais (óxidos de Fe) na serrapilheira. Os teores de Fe na serrapilheira da Campinarana Arborizada são mais elevados que na Campinarana Florestada, apesar de apresentar-se em menor proporção nos solos em comparação a esta última. A Floresta Aberta possui teor significativo mais elevado de Zn, Fe, Mn, Cu no solo e na serrapilheira, seguido pela Campinarana Arborizada e Florestada, o que sugere a ocorrência destes elementos na ciclagem de nutrientes e na matriz do solo.

### ***Variáveis ambientais e distribuição das espécies***

#### *Análise de Correspondência Canônica (CCA)*

A Análise de Correspondência Canônica (CCA) foi utilizada para avaliar as 26 espécies mais abundantes dentre as 117 listadas. Na Tabela 4 são apresentadas as espécies com respectivos nomes abreviados e abundância. Os resultados da CCA encontram-se nas Figuras 2, 3 e 4 e na Tabela 5. Os autovalores encontrados na análise de ordenação de variáveis químicas do solo para os eixos 1 e 2 (Tabela 5) são valores considerados elevados, superiores a 0,5 de acordo com Ter Braak (1995). Os três eixos explicam 40,01% (eixo 1), 35,4% (eixo 2) e 7,2% (eixo 3) da variância e a variância total acumulada (ou variância global) foi de 82,6%. O valor acumulado alto indica correlações positivas elevadas entre as variáveis ambientais estudadas e as espécies.

O teste de permutação de Monte Carlo indicou que as referidas densidades também foram correlacionadas significativamente com as variáveis ambientais utilizadas, sendo  $p = 0,04$  para o eixo 1 e  $p = 0,01$  para o eixo 2 (Tabela 5).

As variáveis que apresentaram correlações negativas com valores mais elevados no primeiro eixo da CCA foram a soma de bases (SB) e a quantidade de argila (Arg) e, para correlações positivas apenas a variável areia fina (AF). As outras variáveis apresentaram correlações baixas.

No eixo 2, as variáveis P, Al e T tiveram as maiores correlações positivas. A variável areia grossa (AG) foi a que apresentou maior correlação negativa no eixo 3 (Tabela 5).

Tabela 4 – Espécies analisadas no cálculo da análise de correlação canônica (CCA), representadas por dez ou mais indivíduos na amostragem no PARNA do Viruá, Roraima. Floresta Ombrófila Aberta (F), Campinarana Florestada (C) e Arborizada (A).

<b>Espécies</b>	<b>Abreviações</b>	<b>F</b>	<b>C</b>	<b>A</b>
<i>Andira micrantha</i>	And mic	1	25	0
<i>Astrocaryum gynacanthum</i>	Ast gyn	13	0	0
<i>Barcella odora</i>	Bar odo	0	0	30
<i>Calyptranthes cusipdata</i>	Cal cus	0	0	41
<i>Clusia regneriodes</i>	Clu reg	0	25	0
<i>Faramea torquata</i>	Far tor	0	29	0
<i>Ferdinandusa goudotiana</i>	Fer gou	0	18	0
<i>Guatteria foliosa</i>	Gua fol	0	16	0
<i>Humiria balsamifera</i>	Hum bal	0	8	42
<i>Humiriastrum cuspidatum</i>	Hum cus	0	11	0
<i>Ilex</i> sp.	Ile sp.	0	8	249
<i>Licania heteromorpha</i>	Lic het	0	137	0
<i>Maclobium bifolium</i>	Mac bif	0	0	16
<i>Malpighiaceae</i> sp.	Mal sp.	0	0	43
<i>Matayba opaca</i>	Mat opa	0	17	0
<i>Mezilaurus</i> sp.	Mez sp.	0	24	0
<i>Myrcia sylvatica</i>	Myr syl	10	0	0
<i>Ouratea</i> sp.	Our sp.	0	29	0
<i>Pagamea plicata</i>	Pag pli	0	23	0
<i>Rhodognaphalopsis</i> sp.	Rho sp.	0	0	17
<i>Richeria dressleri</i>	Ric dre	0	11	0
<i>Ruizterania cassiquiarensis</i>	Rui cas	0	0	15
<i>Sacoglottis guianensis</i>	Sac gui	0	68	0
<i>Tapirira guianensis</i>	Tap gui	0	15	0
<i>Tetragastris panamensis</i>	Tet pan	26	0	0
<i>Tibouchina aspera</i>	Tib asp	0	0	92

Tabela 5 - Resultados da análise de correspondência canônica (CCA) realizados entre variáveis químicas do solo e as densidades absolutas de espécies de Floresta Ombrófila Aberta, Campinarana Florestada e Campinarana Arborizada, Roraima.

	<b>Eixo 1</b>	<b>Eixo 2</b>	<b>Eixo 3</b>
Autovalores	0,9472	0,8387	0,1695
Porcentagem de variância explicada	40,010	35,428	7,158
Porcentagem cumulativa de variância	40,010	75,439	82,596
Teste de significância (Monte Carlo)	0,04	0,01	0,03
Correlações das Variáveis Internas			
P	0,2346	0,9293	-0,1229
Al	0,2500	0,8658	0,1379
SB	-0,9522	0,1989	0,0299
T	0,3143	0,7707	0,0881
MO	0,2793	0,5298	0,1966
AG	-0,0236	0,0491	-0,4104
AF	0,8212	-0,5152	-0,1675
Arg	-0,8404	0,4243	0,3071

*P* – fósforo; *Al* – alumínio; *SB* – soma de bases; *T* – Capacidade de Troca Catiônica a pH 7; *MO* – matéria orgânica; *AG* – areia grossa; *AF* – areia fina; *Arg* – argila.

A ordenação das parcelas das fitofisionomias de Campinaranas seguiu o alinhamento do eixo 2 e as parcelas da Floresta Aberta o eixo 1. É notável a separação dos três grupos distintos de parcelas, com forte correlação para P, Al, T, e MO, na distinção entre a Campinarana Florestada e Arborizada (Figura 2), sendo tais variáveis mais correlacionadas com a Campinarana Florestada.

O eixo 1 teve forte correlação positiva com a SB e a quantidade de argila e forte correlação negativa com a quantidade de areia fina, na separação das fisionomias das Campinaranas e da Floresta Ombrófila Aberta. Assim, a Floresta encontra-se mais distante das outras fisionomias (Campinaranas), em condições edáficas diferenciadas, como maiores valores de SB e argila, o que denota um ligeiro aumento na fertilidade e, principalmente, maior retenção de umidade no solo.

De maneira geral, as espécies mais abundantes forma grupos bem distintos para cada formação (Figura 3). Apenas algumas espécies estão presentes em ambas as fitofisionomias das Campinaranas e apresentam-se pouco distante dos agrupamentos, como a *Humiria balsamifera* e *Andira micrantha*. Tais espécies parecem ter papel importante na colonização e formação de novas áreas mais arborizadas e na transição entre as fitofisionomias (Floresta-Campinarana), respectivamente.

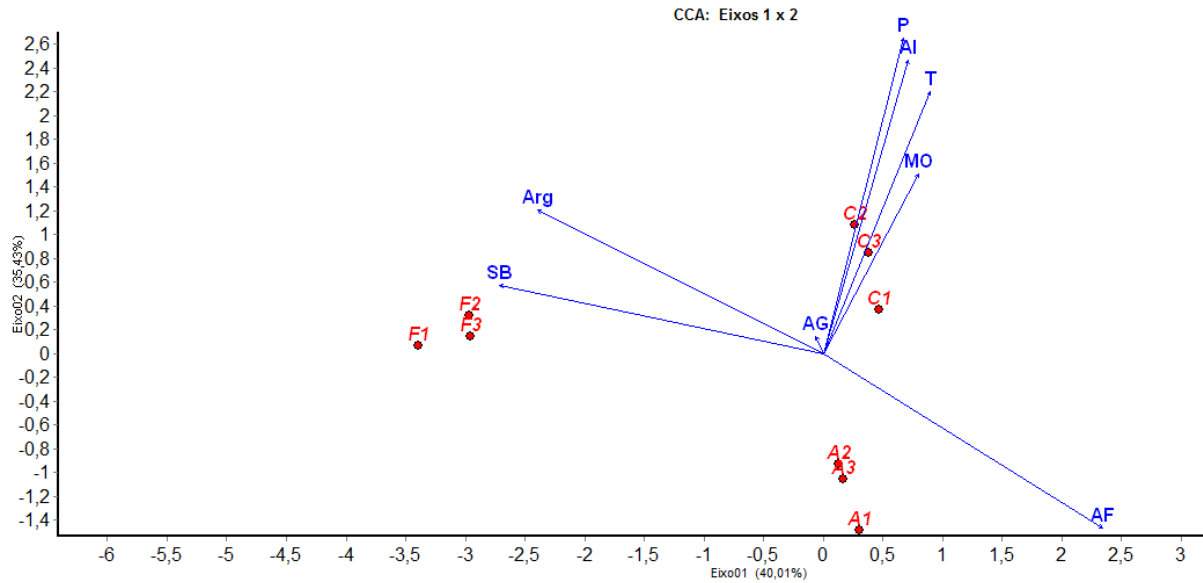


Figure 2 – Diagrama de ordenação da Análise de Correspondência Canônica (CCA) do eixo 1-2 a partir de características químicas do solo e das densidades absolutas das parcelas da Floresta Ombrófila Aberta (F), Campinarana Florestada (C) e Campinarana Arborizada (A), no Parque Nacional do Viruá, Roraima.

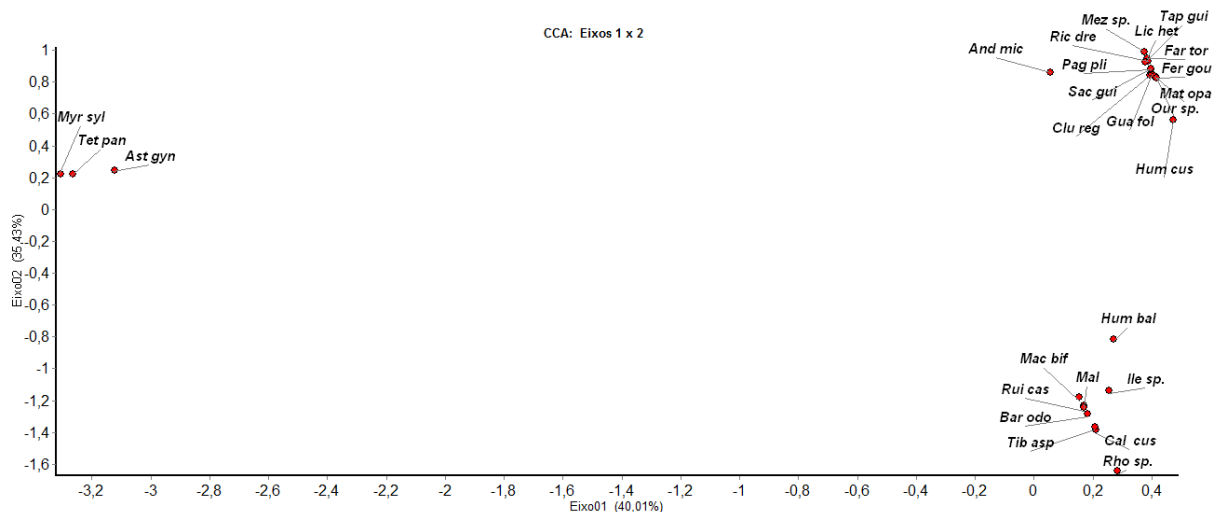


Figura 3 - Diagrama de ordenação da Análise de Correspondência Canônica (CCA) a partir de características químicas do solo e das espécies instaladas na Floresta Ombrófila Aberta, Campinarana Florestada e Campinarana Arborizada, no Parque Nacional do Viruá, Roraima.

### Florística e Fitossociologia

Foi amostrado no PARNA Viruá um total de 1.335 indivíduos de espécies da flora em 3 fitofisionomias distintas (1.307 vivos e 28 mortos): Floresta Ombrófila Aberta (169 indivíduos), Campinarana Florestada (561 indivíduos) e Arborizada (578 indivíduos). No total, foram identificadas 117 espécies, distribuídas em 73 gêneros e 37 famílias (Tabela 6).

As famílias com maior número de espécies identificadas foram: Rubiaceae (10 spp.), Chrysobalanaceae (9 spp.), Burseraceae (9 spp.), Sapotaceae (9 spp.), Fabaceae (7 spp.), Lauraceae (7 spp.), Myrtaceae (6 spp.), Arecaceae (6 spp.), Apocynaceae (4 spp.) e Sapindaceae (4 spp.), com mais 4 espécies cada (Tabela 2). A maioria das famílias (26) apresentou número igual ou menor que três espécies, representando 72,2% das famílias registradas. As famílias com maior valor de importância para a Floresta Ombrófila Aberta foram Lecythidaceae (66,6%), Burseraceae (45%) e Arecaceae (29,2%); para a Campinarana Florestada foram Chrysobalanaceae (52,3%), Humiriaceae (47,1%) e Rubiaceae (30,6%); e para a Campinarana Arborizada as famílias Aquifoliaceae (114,4%), Humiriaceae (31%) e Melastomataceae (30%).

Tabela 6 - Espécies ocorrentes em três fisionomias no Parque Nacional do Viruá - Roraima: Floresta Ombrófila Aberta (F), Campinarana Florestada (C), Campinarana Arborizada (A).

Família	Nome Científico	F	C	A
Anacardiaceae	<i>Astronium lecointei</i> Ducke	X		
	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.		X	
	<i>Tapirira retusa</i> Ducke	X		
Annonaceae	<i>Bocageopsis multiflora</i> (Mart.) R.E.Fr.	X		
	<i>Guatteria discolor</i> R.E.Fr.	X		
	<i>Guatteria foliosa</i> Benth.		X	
Apocynaceae	<i>Aspidosperma desmanthum</i> Benth. ex Müll.Arg.	X		
	<i>Aspidosperma</i> sp.	X		
	<i>Couma utilis</i> (Mart.) Müll. Arg.		X	
	<i>Parahancornia amara</i> (Markgr.) Monach.		X	
Aquifoliaceae	<i>Parahancornia fasciculata</i> (Poir.) Benoist		X	
	<i>Ilex</i> sp.		X	X
	<i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Maguire et al.	X		
Araliaceae	<i>Astrocaryum aculeatum</i> G.Mey.	X		
	<i>Astrocaryum gynacanthum</i> Mart.	X		
	<i>Astrocaryum</i> G.Mey.	X		
	<i>Attalea maripa</i> (Aubl.) Mart.	X		
	<i>Barcella odora</i> (Trail) Drude			X
	<i>Euterpe precatória</i> Mart.	X		
	<i>Oenocarpus bacaba</i> Mart.	X		
	<i>Bigoniaceae</i> sp.			X
Bombacaceae	<i>Bombacaceae</i> sp.			X
Boraginaceae	<i>Cordia exaltata</i> Lam.		X	
	<i>Cordia fallax</i> I.M.Johnst.	X		
	<i>Cordia naidophila</i> I.M.Johnst.		X	
Burseraceae	<i>Protium apiculatum</i> Swart	X		
	<i>Protium divaricatum</i> Engl. subsp. <i>divaricatum</i>	X		
	<i>Protium occultum</i> Daly	X		
	<i>Protium robustum</i> (Swart) D.M.Porter	X		
	<i>Protium spruceanum</i> (Benth.) Engl.		X	
	<i>Protium tenuifolium</i> (Engl.) Engl.	X		
	<i>Protium trifoliolatum</i> Engl.	X		
	<i>Trattinnickia rhoifolia</i> Willd.	X		
<i>Tetragastris panamensis</i> (Engl.) Kuntze	X			
Chrysobalanaceae	<i>Couepia canomensis</i> (Mart.) Benth. ex Hook.f.	X		

continua

continuação				
Família	Nome Científico	F	C	A
Chrysobalanaceae	<i>Couepia guianensis</i> Aubl.	X		
	<i>Hirtella</i> sp.	X		
	<i>Licania heteromorpha</i> Benth.		X	
	<i>Licania longistyla</i> (Hook.f.) Fritsch	X		
	<i>Licania niloi</i> Prance		X	
	<i>Licania parvifolia</i> Huber	X		
	<i>Licania sothersiae</i> Prance	X		
Clusiaceae	<i>Licania sprucei</i> (Hook.f.) Fritsch	X		
	<i>Clusia panapanari</i> (Aubl.) Choisy		X	X
	<i>Clusia renggerioides</i> Planch. & Triana		X	
	<i>Tovomita schomburgkii</i> Planch. & Triana		X	
Combretaceae	<i>Buchenavia grandis</i> Ducke	X		
Dileniaceae	<i>Doliodarpus hispidobaccatus</i> Aymard			X
Euphorbiaceae	<i>Maprounea guianensis</i> Aubl.	X		
Fabaceae	<i>Andira micrantha</i> Ducke	X	X	
	<i>Macrolobium bifolium</i> (Aubl.) Pers.			X
	<i>Ormosia paraensis</i> Ducke		X	
	<i>Peltogyne paniculata</i> Benth.	X		
	<i>Sclerolobium paniculatum</i> Vogel	X		
	<i>Swartzia corrugata</i> Benth.	X		
	<i>Taralea</i> sp.			X
Salicaceae	<i>Casearia javitensis</i> Kunth		X	
Humiriaceae	<i>Humiria balsamifera</i> (Aubl.) J.St.-Hil.		X	X
	<i>Humiriastrum cuspidatum</i> (Benth.) Cuatrec.		X	
	<i>Sacoglottis guianensis</i> Benth.		X	
Icacinaceae	<i>Emmotum nitens</i> (Benth.) Miers		X	
Lauraceae	<i>Mezilaurus</i> sp.		X	
	<i>Ocotea pauciflora</i> (Nees) Mez		X	
	<i>Ocotea cujumary</i> Mart.		X	
	<i>Ocotea leucoxydon</i> (Sw.) Laness.		X	
	<i>Ocotea rhynchophylla</i> (Meisn.) Mez	X		
	<i>Ocotea tabacifolia</i> (Meisn.) Rohwer		X	
	<i>Ocotea tabacifolia</i> (Meisn.) Rohwer		X	
Lecythidaceae	<i>Couratari oblongifolia</i> Ducke & Kunth	X		
	<i>Eschweilera ovata</i> (Cambess.) Mart. ex Miers	X		
Malpighiaceae	<i>Blepharandra</i> sp.			X
	<i>Verrucularia</i> sp.			X
Malvaceae	<i>Rhodognaphalopsis</i> sp.			X
Melastomataceae	<i>Miconia argyrophylla</i> DC.	X		
	<i>Miconia egensis</i> Cogn.	X		
	<i>Tibouchina aspera</i> Aubl.			X
Meliaceae	<i>Guarea carinata</i> Ducke	X		
	<i>Trichilia cipo</i> (A.Juss.) C.DC.	X		
Myrsinaceae	<i>Cybianthus</i> sp.			X
	<i>Cybianthus reticulatus</i> (Benth. ex Miq.) G.Agostini		X	
Myrtaceae	<i>Calyptanthes cuspidata</i> Mart. ex DC.			X
	<i>Eugenia puniceifolia</i> (Kunth) DC.	X	X	X
	<i>Myrcia servata</i> McVaugh	X		
	<i>Myrcia fallax</i> (Rich.) DC.	X		
	<i>Myrcia silvatica</i> (G.Mey.) DC.	X		
Ochnaceae	<i>Ouratea hexasperma</i> (A.St.-Hil.) Baill.		X	
	<i>Ouratea</i> sp.		X	
Olacaceae	<i>Aptandra</i> sp.	X		
Pentaphragmaceae	<i>Ternstroemia</i> Mutis ex L.f.		X	X
Phyllanthaceae	<i>Richeria dressleri</i> G.L. Webster		X	
	<i>Richeria grandis</i> Vahl		X	
	<i>Richeria</i> sp.		X	
Polygaleae	<i>Bredemeyera</i> sp.			X

continua

continuação

<b>Família</b>	<b>Nome Científico</b>	<b>F</b>	<b>C</b>	<b>A</b>
Rubiaceae	<i>Duroia gransabanensis</i> Steyerm.	X		
	<i>Duroia</i> sp.		X	
	<i>Faramea godetiana</i> Müll.Arg.		X	
	<i>Ferdinandusa goudotiana</i> K.Schum.		X	
	<i>Ferdinandusa</i> sp.		X	
	<i>Pagamea coriacea</i> Spruce ex Benth.		X	X
	<i>Pagamea plicata</i> Spruce ex Benth.		X	
Sapindaceae	<i>Pagamea</i> sp.		X	X
	<i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk.		X	
	<i>Matayba opaca</i> Radlk.		X	
	<i>Matayba</i> sp.		X	
Sapotaceae	<i>Toulicia pulvinata</i> Radlk.	X		
	<i>Micropholis venulosa</i> (Mart. & Eichler) Pierre	X		
	<i>Pouteria ambelaniifolia</i> (Sandwith) T.D.Penn.	X		
	<i>Pouteria campanulata</i> Baehni	X		
	<i>Pouteria guianensis</i> Aubl.	X		
	<i>Pouteria hispida</i> Eyma	X		
	<i>Pradosia</i> sp.			X
Ulmaceae	<i>Chrysophyllum colombianum</i> (Aubrév.) T.D.Penn.	X		
	<i>Chrysophyllum sparsiflorum</i> Klotzsch ex Miq.	X		
	<i>Ampelocera edentula</i> Kuhlman	X		
Vochysiaceae	<i>Ruizterania cassiquiarensis</i> (Spruce ex Warm.) Marc.-Berti			X
	<i>Ruizterania</i> Marc.-Berti			X
	<i>Vochysia divergens</i> Pohl		X	
	<i>Vochysia</i> sp.		X	

A Floresta Ombrófila Aberta possui a maior área basal total, dentre as fitofisionomias estudadas, com 6,73 m<sup>2</sup>, seguida pela Campinarana Florestada com área basal total de 2,90 m<sup>2</sup> e a Campinarana Arborizada com 1,77 m<sup>2</sup>. Mesmo com os critérios de inclusão distintos entre a Campinarana Arborizada (CAS ≥ 3 cm) e as formações florestais (CAP ≥ 10 cm), tais comparações são relevantes na caracterização da estrutura das comunidades, considerando que os indivíduos menores que o critério de inclusão contribuem relativamente muito pouco na área basal total (DURIGAN, 2009). A área basal possui relação direta com a biomassa vegetal e indireta com o microclima (luminosidade e temperatura), interceptação de água pela chuva e disponibilidade de abrigo e alimento para a fauna (MÜLLER-DOMBOIS e ELLEMBERG, 1974, citados por DURIGAN, 2009).

A densidade total de indivíduos também é um atributo importante na distinção das fitofisionomias. A Floresta Aberta apresentou 1.408 ind/ha enquanto as Campinaranas foram aproximadamente três vezes mais adensadas, com 4.675 ind/ha na Campinarana Florestada e 4.816 ind/ha na Campinarana Arborizada, não obstante, tal diferenciação trata-se de artefatos da amostragem. A análise da área basal total e da densidade total revela aspectos estruturais importantes destas comunidades, como a presença de poucos

indivíduos com maior biomassa na Floresta Aberta e muitos indivíduos com menor biomassa nas Campinaranas.

### ***Floresta Ombrófila Aberta***

Na Floresta Ombrófila Aberta foram registrados em 0,12 ha um total de 169 indivíduos, sendo 163 vivos e 6 mortos, pertencentes a 57 espécies distribuídas em 38 gêneros e 21 famílias (Tabela 7). Essa fitofisiomomia apresentou a maior riqueza florística dentre as áreas estudadas. O Índice de diversidade de Shannon (H') foi de 3,54 e a equabilidade (J') foi 0,87. A equabilidade informa sobre a divisão dos espécimes entre as diferentes unidades taxonômicas (MAGURRAN, 1988), o que indica para o valor calculado que não há dominância marcante de nenhuma espécie.

As famílias mais ricas foram Burseraceae com 8 espécies, seguida por Sapotaceae e Chrysobalanaceae (7), Arecaceae (6), Myrtaceae e Fabaceae com 4 espécies cada, além da Lecythidaceae, Apocynaceae, Meliaceae, Anacardiaceae, Annonaceae e Melastomataceae com duas espécies cada. A ocorrência dessas famílias é reportada em alguns trabalhos realizados em Florestas de Terra Firme, na bacia do Rio Negro (PRANCE, 1990; RANKIN-DE-MÉRONA et al., 1992; MILLIKEN, 1998).

As espécies que apresentaram os maiores valores de importância e que caracterizam a fisionomia geral da vegetação foram: *Couratari oblongifolia* (Lecythidaceae), *Tetragastris panamensis* (Burseraceae) e *Astrocaryum gynacanthum* (Arecaceae). A estrutura da comunidade é caracterizada principalmente pela espécie *Tetragastris panamensis* e *Astrocaryum gynacanthum*, segundo e terceiro maior valor de importância (VI), porém com maiores valores de densidade e frequência absolutas e relativas. A espécie *Couratari oblongifolia* obteve o maior valor de importância de 18,35%, em razão de sua área basal, porém com apenas 3 indivíduos de grande porte (Tabela 7). Esta fitofisionomia apresentou 31 espécies amostradas com apenas um indivíduo, o que equivale a 53,4 % das espécies.

Tabela 7 - Parâmetros fitossociológicos das espécies e do grupo das árvores amostradas em uma Floresta Ombrófila Aberta, Parque Nacional do Viruá, Roraima. As espécies estão ordenadas de forma decrescente pelo valor de importância - N = número de indivíduos; DA = densidade absoluta (número de indivíduos/ha); DR = densidade relativa (%); FA = frequência absoluta; FR = frequência relativa (%); DoA = dominância absoluta (m<sup>2</sup>/ha); DoR = dominância relativa (%); VC = Valor de Cobertura (%) e VI% = valor de importância (%).

<b>Espécies</b>	<b>N</b>	<b>DA</b>	<b>DR</b>	<b>FA</b>	<b>FR</b>	<b>DoA</b>	<b>DoR</b>	<b>VC (%)</b>	<b>VI (%)</b>
<i>Couratari oblongifolia</i>	3	6,3	1,78	25,00	2,44	7,13	50,83	26,31	18,35
<i>Tetragastris panamensis</i>	26	54,2	15,38	75,00	7,32	0,75	5,32	10,35	9,34

continua

continuação

<b>Espécies</b>	<b>N</b>	<b>DA</b>	<b>DR</b>	<b>FA</b>	<b>FR</b>	<b>DoA</b>	<b>DoR</b>	<b>VC (%)</b>	<b>VI (%)</b>
Morta	6	12,5	3,55	33,33	3,25	1,03	7,31	5,43	4,70
<i>Astrocaryum gynacanthum</i>	14	29,2	8,28	50,00	4,88	0,09	0,64	4,46	4,60
<i>Myrcia sylvatica</i>	10	20,8	5,92	58,33	5,69	0,19	1,38	3,65	4,33
<i>Buchenavia cf. grandis</i>	1	2,1	0,59	8,33	0,81	1,49	10,63	5,61	4,01
<i>Eschweilera ovata</i>	8	16,7	4,73	41,67	4,07	0,18	1,28	3,01	3,36
<i>Protium tenuifolium</i>	7	14,6	4,14	41,67	4,07	0,15	1,08	2,61	3,10
<i>Cordia fallax</i>	6	12,5	3,55	33,33	3,25	0,15	1,05	2,30	2,62
<i>Licania sothersiae</i>	6	12,5	3,55	33,33	3,25	0,06	0,44	2,00	2,41
<i>Protium divaricatum</i>	5	10,4	2,96	41,67	4,07	0,02	0,17	1,57	2,40
<i>Attalea maripa</i>	4	8,3	2,37	16,67	1,63	0,40	2,86	2,62	2,29
<i>Oenocarpus bacaba</i>	4	8,3	2,37	25,00	2,44	0,23	1,64	2,01	2,15
<i>Duroia gransabanensis</i>	4	8,3	2,37	33,33	3,25	0,06	0,40	1,39	2,01
<i>Trichilia cipo</i>	4	8,3	2,37	25,00	2,44	0,14	0,97	1,67	1,93
<i>Pouteria hispida</i>	2	4,2	1,18	16,67	1,63	0,26	1,82	1,50	1,54
<i>Astronium leiconteii</i>	3	6,3	1,78	25,00	2,44	0,01	0,06	0,92	1,43
<i>Myrcia fallax</i>	3	6,3	1,78	25,00	2,44	0,01	0,05	0,92	1,42
<i>Chrysophyllum columbianum</i>	3	6,3	1,78	16,67	1,63	0,07	0,52	1,15	1,31
<i>Pouteria guianensis</i>	3	6,3	1,78	16,67	1,63	0,04	0,31	1,05	1,24
<i>Guatteria discolor</i>	3	6,3	1,78	16,67	1,63	0,03	0,20	0,99	1,20
<i>Aspidosperma sp.</i>	1	2,1	0,59	8,33	0,81	0,31	2,18	1,39	1,19
<i>Sclerolobium paniculatum</i>	1	2,1	0,59	8,33	0,81	0,25	1,82	1,21	1,07
<i>Trattinickia rhoifolia</i>	2	4,2	1,18	16,67	1,63	0,06	0,41	0,80	1,07
<i>Eugenia puniceifolia</i>	2	4,2	1,18	16,67	1,63	0,04	0,27	0,73	1,03
<i>Euterpe precatória</i>	2	4,2	1,18	16,67	1,63	0,03	0,24	0,71	1,02
<i>Protium oculatum</i>	2	4,2	1,18	16,67	1,63	0,03	0,19	0,69	1,00
<i>Aspidosperma desmanthum</i>	2	4,2	1,18	16,67	1,63	0,02	0,14	0,66	0,98
<i>Licania parvifolia</i>	2	4,2	1,18	16,67	1,63	0,01	0,08	0,63	0,96
<i>Guarea carinata</i>	2	4,2	1,18	16,67	1,63	0,01	0,07	0,63	0,96
<i>Scheffera morototoni</i>	1	2,1	0,59	8,33	0,81	0,18	1,28	0,94	0,89
<i>Ocotea rhynchophylla</i>	1	2,1	0,59	8,33	0,81	0,12	0,85	0,72	0,75
<i>Protium apiculatum</i>	1	2,1	0,59	8,33	0,81	0,08	0,60	0,60	0,67
<i>Astrocaryum aculeatum</i>	1	2,1	0,59	8,33	0,81	0,06	0,43	0,51	0,61
<i>Ampelocera edentula</i>	1	2,1	0,59	8,33	0,81	0,06	0,40	0,50	0,60
<i>Andira micrantha</i>	1	2,1	0,59	8,33	0,81	0,05	0,36	0,48	0,59
<i>Pouteria companulata</i>	1	2,1	0,59	8,33	0,81	0,05	0,36	0,48	0,59
<i>Protium robustum</i>	1	2,1	0,59	8,33	0,81	0,04	0,30	0,45	0,57
<i>Tapirira retusa</i>	1	2,1	0,59	8,33	0,81	0,03	0,23	0,41	0,54
<i>Couepia guianensis</i>	1	2,1	0,59	8,33	0,81	0,02	0,16	0,38	0,52
<i>Couepia canomensis</i>	1	2,1	0,59	8,33	0,81	0,01	0,10	0,35	0,50
<i>Myrcia cervata</i>	1	2,1	0,59	8,33	0,81	0,01	0,09	0,34	0,50
<i>Protium trifoliolatum</i>	1	2,1	0,59	8,33	0,81	0,01	0,08	0,34	0,49
<i>Aptandra sp.</i>	1	2,1	0,59	8,33	0,81	0,01	0,07	0,33	0,49
<i>Bocageopsis multiflora</i>	1	2,1	0,59	8,33	0,81	0,01	0,06	0,33	0,49
<i>Toulicia pulvinata</i>	1	2,1	0,59	8,33	0,81	0,01	0,04	0,32	0,48
<i>Peltogyne paniculata</i>	1	2,1	0,59	8,33	0,81	0,01	0,04	0,32	0,48
<i>Swartzia corrugata</i>	1	2,1	0,59	8,33	0,81	0,00	0,03	0,31	0,48
<i>Licania sprucei</i>	1	2,1	0,59	8,33	0,81	0,00	0,03	0,31	0,48
<i>Pouteria ambelanifolia</i>	1	2,1	0,59	8,33	0,81	0,00	0,02	0,31	0,47
<i>Chrysophyllum sparsiflorum</i>	1	2,1	0,59	8,33	0,81	0,00	0,02	0,31	0,47
<i>Hytella sp.</i>	1	2,1	0,59	8,33	0,81	0,00	0,02	0,31	0,47
<i>Maprounea guianensis</i>	1	2,1	0,59	8,33	0,81	0,00	0,02	0,31	0,47
<i>Astrocaryum sp.</i>	1	2,1	0,59	8,33	0,81	0,00	0,01	0,30	0,47
<i>Miconia egensis</i>	1	2,1	0,59	8,33	0,81	0,00	0,01	0,30	0,47
<i>Micropholis venulosa</i>	1	2,1	0,59	8,33	0,81	0,00	0,01	0,30	0,47
<i>Miconia argirophylla</i>	1	2,1	0,59	8,33	0,81	0,00	0,01	0,30	0,47
<i>Licania longistili</i>	1	2,1	0,59	8,33	0,81	0,00	0,01	0,30	0,47
<b>TOTAL</b>	<b>169</b>	<b>353,1</b>	<b>100</b>	<b>1024,9</b>	<b>100</b>	<b>14,0</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

De acordo com Oliveira e Amaral (2004) as espécies “localmente raras” ocorrem na amostragem com apenas um indivíduo. Na amostragem foram observadas 31 espécies raras, o que corrobora com outros estudos na região amazônica (PRANCE et al., 1976; OLIVEIRA e AMARAL, 2004; ALVES e MIRANDA, 2008). No entanto, a amostragem elevada de espécies raras (com apenas 1 indivíduo) também pode ser relacionada com área amostral pequena de 0,12 ha.

Algumas espécies da Floresta Ombrófila Aberta são típicas da região Amazônica, como: *Licania sothersiae* (Chrysobalanaceae), *Swartzia corrugata* (Fabaceae) e *Pouteria campanulata* (Sapotaceae) (PRANCE e SOTHERS, 2010; MANSANO et al., 2010; CARNEIRO e ALMEIDA, 2010). A espécie *Andira micrantha* (Fabaceae) ocorre nesta fitofisionomia, mas predomina entre as espécies mais importantes da Campinarana Florestada (Tabela 7). Os gêneros *Cordia*, *Duroia*, *Guatteria*, *Licania*, *Ocotea*, *Protium* e *Tapirira* ocorrem tanto na Floresta Aberta como na Campinarana Florestada. A ocorrência generalizada desses gêneros corrobora com as características ecotonais dessa região, com áreas de contato ecológico entre as Campinaranas e as Florestas Ombrófilas.

A espécie *Eugenia puniceiflora* (Myrtaceae) ocorre nas três fitofisionomias arbóreas estudadas no PARNA do Viruá (Floresta, Campinarana Florestada e Campinarana Arborizada), porém apresenta porte diferenciado, sendo menor na Campinarana Arborizada. Esta espécie também é endêmica do Brasil e com ampla distribuição em todos os Estados (SOBRAL et al., 2010), sendo reportada para as Campinaranas da Serra do Cachimbo (PA) e Parintins (AM) (FERREIRA, 2009), nas savanas de Roraima (MIRANDA e ABSY, 2000), na transição Cerrado-Floresta paludosa em São Paulo, no Cerrado no Maranhão (CONCEIÇÃO e ARAGÃO, 2010), em florestas de todos os estados da região nordeste (NASCIMENTO et al., 2010) e em campo rupestre arbustivo na Serra dos Carajás (NUNES, 2009). No entanto, não foi amostrada nas Campinaranas de Cruzeiro do Sul (AC) e Vigia do Nazaré (PA) (FERREIRA, 2009).

Gribel et al. (2009) também encontraram no PARNA do Viruá as seguintes espécies da família Arecaceae na Florestas Ombrófila: *Euterpe precatoria*, *Oenocarpus bacaba* e *Attalea maripa*. Tais espécies de palmeiras ocupam preferencialmente as áreas com solos mais argilosos. Na região da Serra da Perdida, o terço médio próximo à área estudada destaca-se pela grande abundância de indivíduos da espécie *Attalea maripa*, popularmente conhecida como inajá.

## Campinarana Florestada

Na Campinarana Florestada foram registrados 561 indivíduos, sendo 539 vivos e 22 mortos, pertencentes a 47 espécies distribuídas em 31 gêneros e 21 famílias (Tabela 8). O Índice de diversidade de Shannon ( $H'$ ) foi de 2,96 e a equabilidade ( $J'$ ) foi 0,76. As famílias mais ricas foram Rubiaceae e Lauraceae com oito e cinco espécies, respectivamente, seguidas por Humiriaceae, Sapindaceae, Clusiaceae, Phyllanthaceae e Apocynaceae com três espécies cada cada.

Tabela 8 - Parâmetros fitossociológicos das espécies e do grupo das árvores amostradas em uma Campinarana Florestada, Parque Nacional do Viruá, Roraima. As espécies estão ordenadas de forma decrescente pelo valor de importância - N = número de indivíduos; DA = densidade absoluta (número de indivíduos/ha); DR = densidade relativa (%); FA = frequência absoluta; FR = frequência relativa (%); DoA = dominância absoluta (m<sup>2</sup>/ha); DoR = dominância relativa (%); VC = Valor de Cobertura (%) e VI% = valor de importância (%).

Nome Científico	N	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	VC (%)	VI (%)
<i>Licania heteromorpha</i>	137	285,4	24,42	100,00	6,63	1,13	18,70	21,56	16,58
<i>Sacoglottis guianensis</i>	68	141,7	12,12	100,00	6,63	1,22	20,12	16,12	12,96
Morta	22	45,8	3,92	75,00	4,97	0,62	10,26	7,09	6,38
<i>Andira micrantha</i>	26	54,2	4,63	75,00	4,97	0,56	9,23	6,93	6,28
<i>Ferdinandusa goudotiana</i>	26	54,2	4,63	91,67	6,08	0,17	2,85	3,74	4,52
<i>Ouratea</i> sp.	31	64,6	5,53	83,33	5,52	0,14	2,38	3,96	4,48
<i>Mezilaurus</i> sp.	24	50	4,28	58,33	3,87	0,32	5,21	4,75	4,45
<i>Pagamea plicata</i>	23	47,9	4,10	66,67	4,42	0,12	2,06	3,08	3,53
<i>Clusia regneriodes</i>	25	52,1	4,46	58,33	3,87	0,12	1,93	3,20	3,42
<i>Faramea torquata</i>	21	43,8	3,74	58,33	3,87	0,12	2,04	2,89	3,22
<i>Guatteria foliosa</i>	16	33,3	2,85	75,00	4,97	0,10	1,72	2,29	3,18
<i>Matayba opaca</i>	16	33,3	2,85	58,33	3,87	0,11	1,85	2,35	2,86
<i>Tapirira guianensis</i>	15	31,3	2,67	58,33	3,87	0,10	1,58	2,13	2,71
<i>Ormosia paraensis</i>	2	4,2	0,36	16,67	1,10	0,36	6,01	3,19	2,49
<i>Richeria dressleri</i>	10	20,8	1,78	50,00	3,31	0,12	2,05	1,92	2,38
<i>Humirium cuspidatum</i>	11	22,9	1,96	33,33	2,21	0,07	1,09	1,53	1,75
<i>Humiria balsamifera</i>	8	16,7	1,43	25,00	1,66	0,09	1,46	1,45	1,52
<i>Emmotum nitens</i>	5	10,4	0,89	25,00	1,66	0,08	1,26	1,08	1,27
<i>Tapirira retusa</i>	4	8,3	0,71	25,00	1,66	0,06	0,91	0,81	1,09
<i>Parahancornia fasciculata</i>	4	8,3	0,71	33,33	2,21	0,01	0,20	0,46	1,04
<i>Ilex</i> sp.	8	16,7	1,43	16,67	1,10	0,02	0,37	0,90	0,97
<i>Ocotea</i> aff. <i>pausiflora</i>	4	8,3	0,71	25,00	1,66	0,02	0,35	0,53	0,91
<i>Richeria grandis</i>	3	6,3	0,53	16,67	1,10	0,06	0,99	0,76	0,87
<i>Richeria</i> sp.	6	12,5	1,07	16,67	1,10	0,03	0,45	0,76	0,87
<i>Pagamea coriacea</i>	3	6,3	0,53	25,00	1,66	0,02	0,31	0,42	0,83
<i>Ouratea hexasperma</i>	7	14,6	1,25	8,33	0,55	0,03	0,54	0,90	0,78
<i>Clusia panapanari</i>	4	8,3	0,71	16,67	1,10	0,03	0,42	0,57	0,74
<i>Ocotea tabacifolia</i>	2	4,2	0,36	16,67	1,10	0,04	0,67	0,52	0,71
<i>Pagamea</i> sp.	4	8,3	0,71	16,67	1,10	0,01	0,24	0,48	0,68
<i>Ocotea leucoxydon</i>	2	4,2	0,36	16,67	1,10	0,01	0,19	0,28	0,55
<i>Protium spruceanum</i>	2	4,2	0,36	16,67	1,10	0,00	0,07	0,22	0,51
<i>Cordia naidophylla</i>	2	4,2	0,36	16,67	1,10	0,00	0,06	0,21	0,51
<i>Casearia javitensis</i>	3	6,3	0,53	8,33	0,55	0,01	0,25	0,39	0,44
<i>Vochysia divergens</i>	1	2,1	0,18	8,33	0,55	0,03	0,53	0,36	0,42
<i>Cordia exaltata</i>	2	4,2	0,36	8,33	0,55	0,01	0,22	0,29	0,38
<i>Matayba</i> sp.	2	4,2	0,36	8,33	0,55	0,01	0,17	0,27	0,36
<i>Couma utilis</i>	1	2,1	0,18	8,33	0,55	0,02	0,30	0,24	0,34
<i>Parahancornia amara</i>	1	2,1	0,18	8,33	0,55	0,01	0,25	0,22	0,33

continua

continuação

<b>Nome Científico</b>	<b>N</b>	<b>DA</b>	<b>DR</b>	<b>FA</b>	<b>FR</b>	<b>DoA</b>	<b>DoR</b>	<b>VC (%)</b>	<b>VI (%)</b>
<i>Matayba elaeagnoides</i>	1	2,1	0,18	8,33	0,55	0,01	0,16	0,17	0,30
<i>Faramea godetiana</i>	1	2,1	0,18	8,33	0,55	0,01	0,09	0,14	0,27
<i>Licania niloi</i>	1	2,1	0,18	8,33	0,55	0,00	0,08	0,13	0,27
<i>Ocotea cujumari</i>	1	2,1	0,18	8,33	0,55	0,00	0,07	0,13	0,27
<i>Vochysia</i> sp.	1	2,1	0,18	8,33	0,55	0,00	0,07	0,13	0,27
<i>Duroia</i> sp.	1	2,1	0,18	8,33	0,55	0,00	0,06	0,12	0,26
<i>Cybianthus reticulatus</i>	1	2,1	0,18	8,33	0,55	0,00	0,05	0,12	0,26
<i>Eugenia punicifolia</i>	1	2,1	0,18	8,33	0,55	0,00	0,05	0,12	0,26
<i>Ternstroemia</i> sp.	1	2,1	0,18	8,33	0,55	0,00	0,03	0,11	0,25
<i>Tovomita</i> cf. <i>schomburgkii</i>	1	2,1	0,18	8,33	0,55	0,00	0,03	0,11	0,25
<b>TOTAL</b>	<b>561</b>	<b>1169</b>	<b>100</b>	<b>1508</b>	<b>100</b>	<b>6</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

A Campinarana Florestada é uma vegetação de porte baixo, com altura média de 9 metros e com poucas arbóreas emergentes de 15 a 20 metros de altura. Constitui uma fisionomia com árvores de porte ereto, com a copa muito pouco esgalhada e com folhagem escassa. No PARNA Viruá, grande parte desta fitofisionomia foi afetada pelo incêndio que devastou o estado de Roraima em 1998 (KOHLHEPP, 1998; BARBOSA e FEARNSSIDE, 1999, 2005). Estas evidências são observadas na parcela de Campinarana Florestada em razão da presença de indivíduos mortos com alto valor de importância (7,09%), bem como da preservação dos troncos carbonizados, das árvores de maior porte.

A morte de árvores é um fenômeno natural e contribui com a dinâmica da vegetação nas florestas tropicais (FRANKLIN et al. 1987). Neste estudo, entre as causas que melhor explicariam a mortalidade das árvores no PARNA do Viruá está o fogo. Isto revela uma comunidade em estágio de sucessão não muito avançado, que não está em clímax. De acordo com Kohlhepp (1998) a região do médio rio Anauá, próximo ao PARNA do Viruá, foi uma das áreas centrais de foco do incêndio.

De modo geral, a transição entre a Campinarana Florestada e a Floresta (mata de terra-firme) é brusca, não só quanto às espécies arbóreas como também quanto a frequência entre as mesmas (RICHARDS, 1952; RODRIGUES, 1961), além das características pedológicas marcantes dos solos arenosos e argilosos, respectivamente.

Segundo Richards (1952), as Campinaranas Florestadas parecem ter atingido um grau de desenvolvimento tal, que poderiam ser consideradas como um clímax edáfico estável. Para Rodrigues (1961) é uma vegetação mais condicionada à composição do solo do que ao clima. Apesar disso, outros autores denominam esta tipologia como vegetação de influência pluvial (BRASIL, 1977), em referência às associações com condições climáticas, de elevada pluviosidade, necessárias para ocorrência desta

vegetação. Tais condições também são determinantes para a formação dos *solos podzóis tropicais*, típicos na região da bacia do Rio Negro (MAFRA et al., 2002).

As espécies *Licania heteromorpha* (Chrysobalanaceae), que possui maior valor de importância, *Andira micrantha* (Fabaceae), *Humiriastrum cuspidatum* (Humiriaceae), *Parahancornia amara* (Apocynaceae), *Ormosia paraensis* (Fabaceae) e *Faramea godetiana* (Rubiaceae) são endêmicas do Brasil e típicas da região Amazônica (PRANCE e SOTHERS, 2010; MEDEIROS, 2010; PENNINGTON, 2010; RAPINI et al., 2010; MEIRELES, 2010), sendo restritas à Campinarana Florestada neste estudo. A espécie *Sacoglottis guianensis* (Humiriaceae) também tem grande relevância na amostragem, com segundo maior VI de 12,96%, é registrada na região dos campos do Rio Ariramba, no Pará (EGLER, 1960); em capão florestal no alto da Serra dos Carajás (NUNES, 2009); e nas proximidades de Manaus em floresta de terra firme (OLIVEIRA e AMARAL, 2004).

O gênero *Cybianthus* ocorre nas Campinaranas Florestadas e Arborizadas estudadas. Este gênero também é observado nas Campinaranas em Cantá (RR) e Cruzeiro do Sul (AC) (FERREIRA, 2009), e em floresta de restinga no litoral de São Paulo (GUEDES et al., 2006). As seguintes espécies também são descritas para a Serra dos Carajás (PA), principalmente nos capões florestais e em florestas de encostas (na borda da Serra): *Tapirira guianensis*, *Guatteria foliosa*, *Clusia panapanari*, *Sclerolobium paniculatum* e *Casearia javitensis* (NUNES, 2009).

### ***Campinarana Arborizada***

Na Campinarana Arborizada foram registrados 578 indivíduos, pertencentes a 23 espécies distribuídas em 22 gêneros e 18 famílias (Tabela 9). O Índice de diversidade de Shannon ( $H'$ ) foi de 1,98 e a equabilidade ( $J'$ ) foi 0,63. Dentre todas as fitofisionomias estudadas esta formação possui a menor diversidade e menor equabilidade. A Campinarana Arborizada é composta por espécies do estrato arbóreo, arbustivo e herbáceo (não amostrado).

As famílias mais ricas foram Malpighiaceae, Myrtaceae, Fabaceae, Vochysiaceae e Rubiaceae com 2 espécies cada. Destaca-se a espécie *Ilex* sp., da família Aquifoliaceae, com maior valor de importância e com mais 50 % de valor de cobertura (Tabela 9), em razão de sua dominância nesta fisionomia, o que corrobora com o menor índice de equabilidade encontrado. Alguns trabalhos de estudos florísticos das

Campinaranas (OLIVEIRA e DALY, 2001; PIRES, 1973; LISBÔA, 1975; BARBOSA e FERREIRA, 2004) também reportam a monodominância de certas espécies.

Dentre todas as espécies amostradas, 14 (12%) foram exclusivas das Campinaranas Arborizadas. A espécie *Barcella odora* é típica nas Campinaranas da bacia do Rio Negro (LEITMAN et al., 2010). Dos indivíduos desta fisionomia, apenas dois não foram identificados (Tabela 9) ao nível de gênero ou espécie.

Tabela 9 - Parâmetros fitossociológicos das espécies e do grupo das árvores mortas amostradas em uma Campinarana Arborizada, Parque Nacional do Viruá, Roraima. As espécies estão ordenadas de forma decrescente pelo valor de importância - N = número de indivíduos; DA = densidade absoluta (número de indivíduos/ha); DR = densidade relativa (%); FA = frequência absoluta; FR = frequência relativa (%); DoA = dominância absoluta (m<sup>2</sup>/ha); DoR = dominância relativa (%); VC = Valor de Cobertura (%) e VI% = valor de importância (%).

Nome Científico	N	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	VC (%)	VI (%)
<i>Ilex sp.</i>	249	519	43,08	100,00	12,77	2,13	57,98	50,53	37,94
<i>Humiria balsamifera</i>	42	87,5	7,27	100,00	12,77	0,38	10,38	8,83	10,14
<i>Tibouchina aspera</i>	92	192	15,92	91,67	11,70	0,07	1,82	8,87	9,81
<i>Blepharandra sp.</i>	43	89,6	7,44	41,67	5,32	0,48	13,11	10,28	8,62
<i>Calytrantes cf. cuspidata</i>	41	85,4	7,09	83,33	10,64	0,08	2,23	4,66	6,65
<i>Barcella odora</i>	30	62,5	5,19	41,67	5,32	0,24	6,57	5,88	5,69
<i>Macrobium bifolium</i>	16	33,3	2,77	50,00	6,38	0,08	2,07	2,42	3,74
<i>Ruizterania cassiquiarensis</i>	15	31,3	2,60	41,67	5,32	0,09	2,48	2,54	3,47
<i>Rhodognaphalopsis sp.</i>	17	35,4	2,94	33,33	4,26	0,05	1,27	2,11	2,82
<i>Taralea sp.</i>	7	14,6	1,21	41,67	5,32	0,02	0,52	0,87	2,35
<i>Bredemeyera sp.</i>	5	10,4	0,87	25,00	3,19	0,01	0,18	0,53	1,41
<i>Clusia panapanari</i>	3	6,3	0,52	16,67	2,13	0,00	0,03	0,28	0,89
<i>Cybianthus</i>	2	4,2	0,35	16,67	2,13	0,00	0,08	0,22	0,85
Morfoespécie 2	2	4,2	0,35	16,67	2,13	0,00	0,07	0,21	0,85
<i>Eugenia puniceifolia</i>	2	4,2	0,35	16,67	2,13	0,00	0,02	0,19	0,83
<i>Verrucularia sp.</i>	3	6,3	0,52	8,33	1,06	0,02	0,55	0,54	0,71
<i>Ruizterania sp.</i>	2	4,2	0,35	8,33	1,06	0,01	0,18	0,27	0,53
<i>Ternstroemia sp.</i>	1	2,1	0,17	8,33	1,06	0,01	0,27	0,22	0,50
<i>Doliocarpus hispidobaccatus</i>	2	4,2	0,35	8,33	1,06	0,00	0,02	0,19	0,48
<i>Pradosia sp.</i>	1	2,1	0,17	8,33	1,06	0,01	0,14	0,16	0,46
Morfoespécie 1	1	2,1	0,17	8,33	1,06	0,00	0,02	0,10	0,42
<i>Pagamea coriacea</i>	1	2,1	0,17	8,33	1,06	0,00	0,00	0,09	0,41
<i>Pagamea</i>	1	2,1	0,17	8,33	1,06	0,00	0,00	0,09	0,41
<b>TOTAL</b>	<b>578</b>	<b>1205</b>	<b>100</b>	<b>783,3</b>	<b>100</b>	<b>3,68</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

A Campinarana Arborizada possui um estrato médio de arbustos a partir do solo de até dois metros de altura, e um estrato superior de árvores pequenas menos frequente de 2 a 7 metros de altura. No estrato inferior (não amostradas) predominam espécies herbáceas, principalmente da família Cyperaceae e Poaceae.

As espécies *Ilex sp.* (Aquifoliaceae), *Humiria balsamifera* (Humiriaceae), *Clusia panapanari* (Clusiaceae), *Pagamea coriacea* (Rubiaceae) e *Ternstroemia sp.* (Pentaphragyllacaceae) ocorrem tanto na Campinarana Florestada quanto na Arborizada. O mesmo ocorre para algumas espécies do gênero *Cybianthus*. Apesar destas semelhanças,

estes ambientes são notavelmente diferentes na composição geral das espécies (PRANCE, 1996), bem como no porte de cada indivíduo coincidente, com padrões mais florestais ou arbustivos. Além disso, a vegetação relativamente empobrecida das Campinaranas Arborizadas contrasta claramente com as fitofisionomias florestais estudadas (Campinarana Florestada e Floresta aberta), as quais são caracterizadas por diversidade mais alta de espécies ( $H'_{Arborizada} < H'_{Florestais}$ ).

A espécie *Humiria balsamifera* (Humiriaceae), segundo maior VI com 10,14%, possui ampla distribuição no Brasil e é tipicamente encontrada nas Campinaranas amazônicas, algumas vezes em comunidades monodominantes. Barbosa e Ferreira (2004) em estudos de uma Campinarana no estado de Roraima, reportam para esta espécie uma representação de mais de 60% da biomassa Arborizada de todo ambiente; o que revela sua monodominância, também registrada para este gênero em outras partes da Amazônia (PIRES, 1973). Além disso, esta espécie também é reportada para solos arenosos de restinga desde o sul e sudeste do país até a costa do Pará e nas Savanas de Roraima, porém menos representativa que as Campinaranas de Roraima (MIRANDA e ABSY, 2000; BARBOSA e FERREIRA, 2004; SONEHARA, 2005; MONTEZUMA e ARAUJO, 2007; MEDEIROS, 2010; SILVA et al., 2010). As espécie *H. balsamifera* também ocorrem nas Mussunungas do norte do Espírito Santos e sul da Bahia (SARCINELLI, 2009). Além deste, outros gêneros também são coincidentes nas áreas de Campinaranas amazônicas, restingas e mussunungas do Brasil, a saber: *Eugenia*, *Myrcia*, *Clusia* e *Licania* (SILVA et al., 2010; SARCINELLI, 2009).

A ocorrência da família Humiriaceae com grande relevância nas Campinaranas amostradas indica também a afinidade com a flora das terras altas dos complexos de *tepuis*, típicos da região norte da Amazônia (OLIVEIRA e DALY, 2001). Muitas espécies e famílias típicas da flora da Guiana, raras ou ausentes no resto da Amazônia, são, de certa forma, bem representadas na bacia do Rio Negro, que faz dessa região uma área prioritária em relação à sua importância na conservação, pois reúne uma flora com muitas espécies endêmicas e de outras regiões, o que torna-se única e extremamente diversificada (OLIVEIRA e DALY, 2001).

Segundo Anderson et al. (1975), apesar de relativamente pobre, a vegetação das Campinaranas não é uniforme, e pode apresentar considerável variação de lugar para lugar na mesma região, algumas espécies tendem a concentrar-se apenas em determinadas áreas largamente dispersas. As condições impostas pela pobreza química dos solos e pelas grandes flutuações no nível do lençol freático parecem selecionar as

espécies mais adaptadas, com tendências de uma ou poucas espécies dominarem sobre as demais (RICHARDS, 1952). Diversos autores também reportam tal característica para estas formações na região da bacia do Rio Negro, em contraste com a floresta circundante (RICHARDS, 1952; RODRIGUES, 1961; PIRES, 1973; ANDERSON et al., 1975; LISBÔA, 1975; OLIVEIRA e DALY, 2001). No PARNA do Viruá, a espécie *Ilex* sp. possui 43% de todos os indivíduos amostrados e valor de importância (VI) de 37,9 %, o que revela sua dominância na Campinarana Arborizada.

Além dos aspectos pedológicos e hidrológicos que condicionam a adaptação e seleção de espécies, o fogo também parece ter importante papel na estruturação e distribuição das espécies nas Campinaranas Arborizadas. Os poucos meses de seca, associados à excelente drenagem dos solos, são suficientes para tornar as Campinaranas Arborizadas, ricas em espécies herbáceas, materiais altamente inflamáveis. Estas condições podem selecionar e concentrar as espécies mais resistentes em áreas largamente dispersas.

Nas Campinaranas Arborizadas as marcas do incêndio de 1998 (KOHLHEPP, 1998; BARBOSA e FEARNSIDE, 1999, 2005) são notáveis; dentre todos os indivíduos arbóreo-arbustivos amostrados, 367 (63,5%) possuem ramificações à altura do solo, muitas vezes típicas rebrotas advindas da queima severa do caule principal.

#### *Análise de Similaridade*

O dendrograma de similaridade florística entre as parcelas é apresentado na Figura 5. A análise de correlação cofenética foi satisfatória acima de 0,989135 e, associada à análise de agrupamento, aumentou a confiabilidade das conclusões em relação à interpretação dos dendrogramas (SOKAL e ROHLF, 1962). O dendrograma revela uma notável separação florística entre as duas fitofisionomias das Campinaranas e da Floresta Ombrófila Aberta, sem similaridade florística entre elas. As Campinaranas Florestadas e Arborizadas formaram um grande agrupamento com 49 % de similaridade florística. Esse resultado reforça a semelhança florística entre tais fitofisionomias, entretanto, com características estruturais distintas, explicadas pelas condições edáficas particulares.

As parcelas das Campinaranas Florestadas e Arborizadas apresentaram similaridade florística de 99 % e 95 %, respectivamente. A elevada similaridade das Campinaranas pode estar associada à presença de espécies monodominantes. As parcelas da Floresta Ombrófila apresentam 90 % de similaridade florística. A menor

similaridade da Floresta Ombrófila Aberta é relacionada à elevada ocorrência das espécies localmente raras.

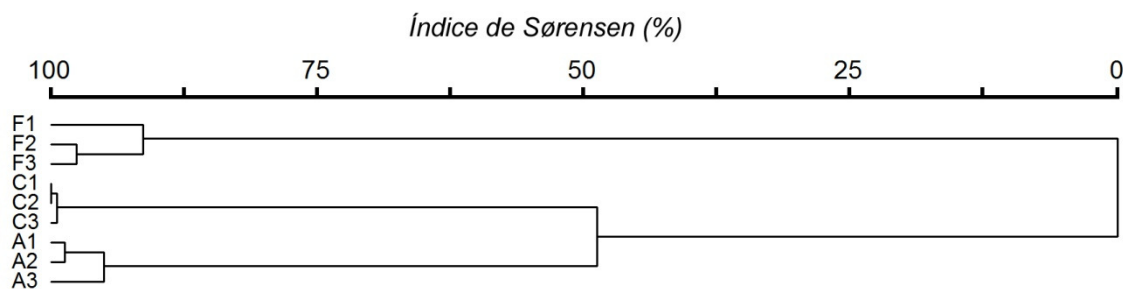


Figura 5 – Dendrograma da similaridade de Sørensen entre as parcelas nas três fitofisionomias estudadas: Floresta Ombrófila Aberta (F), Campinarana Florestada (C) e Campinarana Arborizada (A), no Parque Nacional do Viruá, Roraima, Brasil (Correlação Cofenética = 0,989135).

## CONCLUSÕES

1) Na Análise de Correspondência Canônica (CCA) foi observada clara distinção entre as parcelas estudadas, sendo as variáveis ambientais de soma de bases, argila e areia fina determinantes na distinção Campinarana-Floresta. Para a separação das duas fitofisionomias das Campinaranas, tem-se como variável principal o teor de P.

2) A granulometria mais fina (argilosa) dos solos é determinante para a distinção das fitofisionomias. A vegetação oligotrófica, mais aberta e de porte reduzido das Campinaranas corrobora com a pobreza química, textura muito arenosa e caráter hidromórfico dos solos. Os solos dos ambientes mais florestados apresentam-se mais bem drenados e com teores maiores de nutrientes e argila.

3) As fitofisionomias das Campinaranas e as Florestas apresentam características estruturais diferenciadas entre si, como diferenças contrastantes na biomassa e na densidade de espécies. Predominam nas Campinaranas as espécies *Licania heteromorpha* (Chrysobalanaceae), *Sacoglottis guianensis* (Humiriaceae), *Ilex sp.* (Aquifoliaceae) e *Humiria balsamifera* (Humiriaceae). Na Floresta Ombrófila Aberta destaca-se as famílias Lecythidaceae e Burseraceae, com as espécies *Couratari oblongifolia* e *Tetragastris panamensis*.

4) A similaridade florística entre as fitofisionomias das Campinaranas, em conjunto com as características estruturais diferenciadas da biomassa e da distribuição das espécies nas parcelas, estão relacionadas com as adaptações morfológicas e

fisiológicas de algumas espécies em comum nas fitofisionomias, como forma de estratégias de sobrevivência às condições edáficas particulares.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Programa de Áreas Protegidas da Amazônia (Programa ARPA), ao ICMBio (Roraima), à equipe do PARNA do Viruá e ao CNPq, pelo apoio e financiamento deste trabalho. Ao Sr. Paulo Apóstolo pela identificação das espécies junto ao Instituto de Pesquisas da Amazônia (INPA).

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALONSO, J. A. **Characteristic avifauna of white-sand forests in northern peruvian Amazonia**. 2002. (MSc thesis) Baton Rouge, LA, Louisiana State University.

ALTEMULLER, H.J; KLINGE, H. Micromorphological investigation on development of podzol in Amazon basin. Plön, Max Plank Institute of Limnology. **Soil Micromorphology**, 1964. p. 295-305.

ALVES, J.C.Z.O., MIRANDA, I.S. Análise da estrutura de comunidades arbóreas de uma floresta amazônica de Terra Firme aplicada ao manejo florestal. **Acta Amazonica**. Vol. 38(4) 2008: 657- 666.

ANDERSON, A. B. White-sand Vegetation of Brazilian Amazonia. **Biotropica**, 13(3):199-210, 1981.

ANDERSON, A. B.; PRANCE, G.T.; ALBUQUERQUE, B.W.P. Estudos sobre as vegetações de Campinas Amazônica III: A vegetação lenhosa da Campina da Reserva Biológica INPA –SUFRAMA (Manaus-Caracarái, km 62). **Acta Amazonica**, 5(3):225-246, 1975.

ANDRADE, H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; DEMATTÊ, J. L. I.; ANDRADE, F. V. Pedogeomorfologia e micropedologia de uma seqüência de Latossolo – Areia Quartzosa Hidromórfica sobre rochas cristalinas do Estado do Amazonas. **Genomos**. Belo Horizonte, 5(1): 55-66. 1997.

ANDRADE, H. **Evolução de uma seqüência de solos argilosos até arenosos no Complexo Guianense da Amazônia**. 1990. 179p. (Tese de Doutorado) - Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

BARBOSA, R.I.; FEARNSIDE, P.M. 1999. Incêndios na Amazônia brasileira: estimativa da emissão de gases do efeito estufa pela queima de diferentes ecossistemas de Roraima na passagem do Evento El Niño (1997/98). **Acta Amazonica** 29 (4): 513-534.

BARBOSA, R.I.; FEARNSIDE, P.M. 2005. Fire frequency and area burned in the Roraima savannas of Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management** 204 (2-

3): 371-384.

BARBOSA, R.I.; FERREIRA, C.A.C. 2004. Densidade básica da madeira de um ecossistema de campina em Roraima, Amazônia brasileira. **Acta Amazonica** 34 (4): 587-591.

BOEGER, M.R.; WISNIEWSKI, C. 2002. Estrutura e teores de nutrientes foliares de seis espécies arbóreas ao longo de um gradiente sucessional da planície litorânea do estado do Paraná, Brasil. **Iheringia**. Série Botânica, v. 57, n. 2, p. 243-262.

BONIFACIO, E.; SANTONI, S.; CELI, L.; ZANINI, E. Spodosol - Histosol evolution in the Krkonose National Park (CZ). **Geoderma**, v.131, p.237-250, 2006.

BOULET, R.; CHAUVEL, A., LUCAS, Y. **Les systèmes de transformation en pédologie**. In: Livre Jubilaire du Cinquantenaire de Association Française pour l'Étude du Sol. Paris, AFES, 1984. p.167-179.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. **Folha NA. 20 Boa Vista e parte das Folhas NA -21 Tumuquaque, NB – 20 Roraima e NB – 21**, Rio de Janeiro, v.8, 428 p. 1975. (Levantamento dos Recursos Naturais, 8).

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SA. 19 Içá**; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 452 p. 1977b (Levantamento dos Recursos Naturais, 14).

BRAVARD, S.; RIGHI, D. Podzols in Amazonia. **Catena** 17,461-475. 1990.

BROWER, J.E., ZAR, J.H. 1984. Field & laboratory methods for general ecology. W.C. **Brown Publishers**, Boston.

CARNEIRO, C.E., ALMEIDA Jr., E.B. 2010. Sapotaceae in **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2010/FB024796>).

CONCEIÇÃO, G.M.; ARAGÃO, J.G. 2010. Diversidade e importância econômica das *Myrtaceae* do Cerrado, Parque Estadual do Mirador, Maranhão. **Scientia Plena**. Vol. 6 Num.7

CPRM, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. **Projeto de Mapeamento Geológico / Metalogenético Sistemático** Caracará: Folhas NA.20-Z-B e NA.20-Z-D inteiras e parte das folhas NA.20-Z-A, NA.20-Z-C, NA.21-Y-C e NA.21-Y-A. Brasília, 2000.

DEFELIPO, B.V.; RIBEIRO, A.C. **Análise Química do Solo**. 2ª ed. Viçosa, MG. UFV, 1997.26p. (Boletim de extensão, 29)

DUBROEUCQ, D., VOLKOFF, B. From Oxisols to Spodosols and Histosols: evolution of the soil mantles in the rio Negro basin (Amazonia). **Catena**, 32:245-280, 1998.

DUBROEUCQ, D.; VOLKOFF, B.; PEDRO, G. La couverture pédologique du bouclier du nord de l'Amazonie (bassin du Haut rio Negro). Séquence évolutive des sols et son rôle dans l'aplanissement généralisé des zones tropicales perhumides. **C. R. Acad. Sci., Sér. II**, 312:663-671, 1991.

DUIVENVOORDEN, J. F. Patterns of tree species richness in rainforests of the middle Caqueta area, Colombia, NW Amazonia. **Biotropica** 28(2):142-158. 1996.

DURIGAN, G. Estrutura e diversidade de florestas tropicais. In: Sebastião Venâncio Martins. (Org.). **Ecologia de Florestas Tropicais do Brasil**. 1 ed. Viçosa: Editora UFV, 2009, p. 185-215.

EGLER, W.A. 1960. Contribuições ao conhecimento dos campos da Amazônia. Campos do Ariramba. **Boletim do Museu Goeldi**. Nova Série Botânica, 4:1-36.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2ª. Ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p.

FERREIRA, C.A.C. 2009. **Análise comparativa de vegetação lenhosa do ecossistema campina na Amazonia Brasileira**. Universidade Federal do Amazonas (tese de Doutorado). 277p.

FRANKLIN, J.F., SHUGART, H.H., HARMON, M.E. 1987. Tree death as an ecological process. **BioScience** 37:550-556.

GRIBEL, R.; FERREIRA, C.A.C.; COELHO, L. de S.; SANTOS, J.L. dos; RAMOS, J.F.; SILVA, K.A.F.da. Vegetação do Parque Nacional do Viruá – RR. **Relatório Técnico/ICMBio**. 2009. 58p.

GUEDES, D., BARBOSA, L.M., MARTINS, S.E. 2006. Composição florística e estrutura fitossociológica de dois fragmentos de floresta de restinga no Município de Bertioxa, SP, Brasil. **Acta bot. bras.** 20(2): 299-311. 2006

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. **Série Manuais Técnicos em Geociências. No. 1**, Rio de Janeiro, 1992. 92p.

KOHLHEPP, G. (1998): Tropenwalderhaltung in Brasilien. Umweltpolitische Strategien zum Schutz und zur nachhaltigen Nutzung der Regenwälder. - **Lateinamerika-Jahrbuch** 1998: 9-34, Frankfurt am Main.

LEITMAN, P., HENDERSON, A., NOBLICK, L. 2010. **Arecaceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro

LISBÔA, P. L. **Estudos sobre a vegetação das Campinas Amazônicas II: Observações gerais e revisão bibliográfica sobre as campinas amazônicas de areia branca**. *Acta Amazônica*. 5(3):211-223. 1975.

- LUCAS Y.; CHAUVEL A.; BOULET R.; RANZANI G., SCATOLINI F. Transição Latossolos-podzóis sobre a formação Barreiras na região de Manaus, Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 8:325-335, 1984.
- MAFRA, A.L.; MIKLÓS A. A. W.; VOLKOFF, B.; MELFI, A. J. Pedogênese numa seqüência Latossolo-Espodossolo na região do alto rio Negro, Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:381-394, 2002.
- MAGURRAN, A.E. 1988. **Ecological diversity and its measurement**. New Jersey, Princeton University Press, 179p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba, POTAFOS, 1997. 319p.
- MANSANO, V.F., PINTO, R.B., TORKE, B.M. 2010. *Swartzia* in **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2010/FB083770>).
- MEDEIROS, H. 2010. Humiriaceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2010/FB007975>).
- MEIRELES, J.E. 2010. *Ormosia* in **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2010/FB079124>).
- MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. da S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa: UFV, 107 p. 2005.
- McCUNE, B.; MEFFORD, M.J. 1999. **Multivariate analysis of ecological data**, MjM Software, Gleneden Beach.
- MILLIKEN, W. 1998. Structure and Composition of One Hectare of Central Amazonian Terra Firme Forest. *Blotropica*. 30(4):530-537.
- MIRANDA, I.S.; ABSY, M.L. Fisionomia das Savanas de Roraima, Brasil. **Acta Amazônica**. 30(3):423-440. 2000.
- MONTEZUMA, R. de C.M.; ARAUJO, D.S.D de. Estrutura da vegetação de uma restinga arbustiva inundável no Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, Rio de Janeiro. **Pesquisas, Botânica** N° 58: 157-176 São Leopoldo : Instituto Anchieta de Pesquisas, 2007.
- MUELLER-DOMBOIS, D.Y.; ELLENBERG, M. 1974. **Aims and methods in vegetation ecology**. New York: John Wiley & Sons, 1974, 547p.
- NASCIMENTO, F.H.F. do; GIULIETTI, A.M.; QUEIROZ, L.P. de. Diversidade arbórea das florestas alto montanas no Sul da Chapada Diamantina, Bahia, Brasil. **Acta bot. bras.** 24(3): 674-685. 2010.

- NUNES, J.A. Florística, **Estrutura e Relações Solo-Vegetação em gradiente fitofisionômico sobre canga, na Serra Sul, FLONA de Carajás - Pará**. Universidade Federal de Viçosa (Dissertação de Mestrado) 2009. 101p.
- OLIVEIRA, A.N. de; AMARAL, I.L. do. Florística e fitossociologia de uma floresta de vertente na Amazônia Central, Amazonas, Brasil. **Acta Amazônica**. VOL. 34(1) 2004: 21- 34.
- OLIVEIRA, A.A. de; DALY, D.C. **Florestas do Rio Negro**. São Paulo. Companhia das Letras: UNIP, 2001.
- PENNINGTON, T. 2010. *Andira* in **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2010/FB078998>).
- PIELOU, E.C. 1975. **Ecological diversity**. John Wiley & Sons, New York, 165p.
- PIRES, J.M. 1973. Tipos de Vegetação da Amazônia. **Publ. Avulsa Mus. Par. Emílio Goeldi**. Belém 20.179-202.
- POLETO, F.; ALEIXO, A. Implicações biogeográficas de novos registros ornitológicos em um enclave de vegetação de campina no sudoeste da Amazônia brasileira. **Revista Brasileira de Zoologia**. 22:1196-1200, 2005.
- PRANCE, G.T., RODRIGUES W.A.; SILVA M.F. 1976. Inventário florestal de um hectare de mata de terra firme, km 30 da estrada Manaus-Itacoatiara. **Acta Amazonica**, 6:9-35.
- PRANCE, G.T. Islands in Amazonia. **Phil. Trans. R. Soc. London** vol. 351, no. 1341 p. 823-33,1996.
- PRANCE, G.T. 1990. The floristic composition of the forests of Central Amazonian Brazil. **In**: A. Gentry (ed.). Four Neotropical Forests. Yale University Press, New Haven, Connecticut. pp. 112-140.
- PRANCE, G.T., SOTHERS, C. 2010. *Licania* in **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2010/FB034734>).
- RANKIN-DE-MÉRONA, J., PRANCE, G.T.; HUTCHINGS, R.W.; SILVA, M.F.; RODRIGUES W.A. 1992. Preliminary results of a large-scale tree inventory of upland rain forest in the Central Amazon. **Acta Amazonica**,22:485-492.
- RAPINI, A., KOCH, I., KINOSHITA, L.S., SIMÕES, A.O., SPINA, A.P. 2010. Apocynaceae in **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2010/FB033747>).
- RICHARDS, P.W. 1952. **The tropical rain forest**. Cambridge Univ. Press. 450 pp.
- RODRIGUES, W. Aspectos Fitossociológicos das Caatingas do Rio Negro. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Botânica. Belém. No. 15. 1961. 41p.

RODRIGUES, L. A.; CARVALHO, D. A.; OLIVEIRA FILHO, A. T., CURI, N. 2007. Efeitos de solos e topografia sobre a distribuição de espécies arbóreas em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual em Luminárias, MG. **Revista Árvore**, **31**(1), p. 25-35.

ROYAL BOTANIC GARDENS. **Kew Index Kewensis on compact disc – Manual**. Oxford: Oxford University Press, 67p, 1993.

RUIZ, H.A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). **Rev. Bras. Ciência do Solo**, Viçosa, v.29. p.297-300. 2005.

SANTOS, J.O.S.; NELSON, B.W. Os campos de dunas do Pantanal Setentrional. **In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO**, 8, Caracas, Venezuela, **Anais...**1995. 9p.

SCHAEFER C.E.G.R.; AMARAL, E.F.do; MENDONÇA, B.A.F.de; OLIVEIRA; H.; LANI, J.L.; COSTA, L.M.; FERNANDES FILHO, E.I. Soil and vegetation carbon stocks in Brazilian Western Amazonia: relationships and ecological implications for natural landscapes. **Env. Mon. Assess.** 1-15, 2007.

SCHAEFER, C.E.G.R.; MENDONÇA, B.A.F.de; FERNANDES FILHO, E.I. Geoambientes e Paisagens do Parque Nacional do Viruá – Roraima: esboço de integração da geomorfologia, climatologia, solos, hidrologia e ecologia. **Relatório Técnico/ICMBio**. 2009. 51p

SHEPHERD, G.J. 1995. **Fitopac 2: manual do usuário**. Campinas: Unicamp

SILVA, R.M. da; MEHLIG, U.; SANTOS, J.U.M. dos, MENEZES, M.P.M. de. The coastal *restinga* vegetation of Pará, Brazilian Amazon: a synthesis. **Revista Brasil. Bot.**, V.33, n.4, p.563-573, out.-dez. 2010

SILVEIRA, M. **Vegetação e Flora das Campinaranas do Sudoeste Amazônico**. S.O.S. Amazônia. Rio Branco, 2003. 26p.

SOBRAL, M., PROENÇA, C., SOUZA, M., MAZINE, F., LUCAS, E. 2010. Myrtaceae in **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2010/FB010515>).

SOKAL, R. R. E ROHLF, F. J. 1962. The comparison of dendrograms by objective methods. **Taxonomy**, **11**(1):30-40.

SONEHARA, J. de S. **Aspectos Florísticos e Fitossociológicos de um trecho de vegetação de Restinga no Parque Estadual do Rio da Onça – Matinhos, PR**. Universidade Federal do Paraná. (Dissertação de Mestrado). Curitiba, 2005. 68p.

STATSOFT, Inc. 2003. **Statistica (Data analysis software system)**, versão 6.

SWIFT, R. S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D. L. Ed. Methods of soil analysis. **Part 3. Chemical methods**. Soil Sci. Soc. Am. Book Series: 5. Soil Sci. Soc. Am. Madison, 1996. P. 1018-1020.

TER BRAAK, C.J.F. 1987. The analysis of vegetation-environment relationships by canonical correspondence analysis. **Vegetatio**, v.69, n.1, p.69-77.

TER BRAAK, C. J. F., PRENTICE, C. 1988. A theory of gradient analysis. **Adv. Ecol. Res.** 18: 271-317.

TER BRAAK, C. J. F. 1995. **Ordination**. Pp.91-173. In: JONGMAN, R.H.G.; TER BRAAK, C.J.F.; VAN TONGEREN, O.F.R. (eds.). Data analysis in community and landscape ecology. Cambridge, Cambridge University Press.

The Angiosperm Phylogeny Group. 2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. **Botanical Journal of the Linnean Society** 161: 105-121.

VELOSO, H.P.; RANGEL FILHO, A.L.R.; LIMA, J.C.A. **Classificação da Vegetação Brasileira, adaptada a um Sistema Universal**. Rio de Janeiro. IBGE, 1991.

YEOMANS, J. C., BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Commun. Soil Science Plant Anal.** 19(13): 1467-1476. 1988.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As Campinaranas Amazônicas são verdadeiros ecossistemas arenícolas de grande extensão na Amazônia brasileira. Em uma análise geral dos solos na grande região das Campinaranas Amazônicas, a distribuição das unidades geológicas de sedimentos clásticos arenosos apresenta boa relação com a distribuição da vegetação, apesar da preponderância morfoclimática (precipitação pluvial alta) também determinante em sua formação. A partir da análise dos dados, sugere-se um limite mínimo de  $55 \text{ dag kg}^{-1}$  de areia nos solos para a ocorrência das Campinaranas. Os solos pouco mais argilosos são reportados apenas para as áreas ecotonais Florestas-Campinaranas, marginais aos corpos arenosos. Verificou-se predomínio absoluto dos Espodosolos e Neossolos Quartzarênicos nas Campinaranas. Mesmo em diferentes formações geológicas (granitos, gnaisses, arenitos) e com processos pedogenéticos distintos, estes solos possuem características morfológicas, químicas e físicas muito semelhantes.

A grande extensão e representatividade dos complexos arenosos das Campinaranas identificados no mapeamento fazem do PARNA do Viruá uma UC de proteção integral com forte vocação para preservação e conservação de sistemas arenícolas amazônicos. Os solos estudados no Parque apresentam baixa fertilidade e variações texturais, determinadas pela natureza dos materiais de origem. Destaca-se a relação entre a ocorrência dos térmitas e a distribuição das espécies arbóreo-arbustivas nas Campinaranas Arborizadas e Gramíneo-Lenhosas. Os complexos arenosos das Campinaranas e associações representam os geoambientes mais relevantes na prestação de serviços ambientais de conservação do carbono nos solos do PARNA do Viruá, mesmo com as perdas naturais para os cursos d'água.

Os solos das Campinaranas possuem notáveis evidências de processos de podzolização e mudanças nítidas das propriedades em curtas distâncias. Tais características corroboram com o oligotrofismo típico destes ambientes, onde a vegetação apresenta-se aberta e com porte reduzido. Os dados isotópicos da fração AH sugerem a predominância de uma vegetação arbóreo-arbustiva do tipo C3, durante os períodos mais secos do Holoceno. Os Espodosolos estudados possuem horizontes espódicos com predomínio de formas metálicas de baixa cristalinidade ligadas ao Al, em solos com teores diferenciados de matéria orgânica, porém todos com o caráter

humilúvico. A mineralogia da fração argila, possivelmente, indica a presença de minerais neoformados (gibbsita) e herdados da pedogênese *in situ* do material de origem (minerais 2:1 com hidroxí-entrecamadas).

Na Análise de Correspondência Canônica (CCA) foi observada clara distinção significativa entre as fitofisionomias estudadas, sendo as variáveis ambientais de soma de bases, argila e areia fina as mais determinantes na distinção Campinarana-Floresta. Para a separação das variações fitofisionômicas das Campinaranas, tem-se como variável principal o teor de fósforo. A similaridade florística entre as fitofisionomias das Campinaranas, em conjunto com as características estruturais diferenciadas da biomassa e da distribuição das espécies nas parcelas, são relacionadas com as adaptações morfológicas e fisiológicas de algumas espécies em comum nas fitofisionomias, como forma de estratégias de sobrevivência às condições edáficas particulares.