



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

STEVEN NICODEM

**CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO SOB DIFERENTES  
COBERTURAS VEGETAIS NO PARQUE NACIONAL DO VIRUÁ EM RORAIMA,  
NORTE DA AMAZÔNIA**

Boa Vista  
2008

STEVEN NICODEM

**CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO SOB DIFERENTES  
COBERTURAS VEGETAIS NO PARQUE NACIONAL DO VIRUÁ EM RORAIMA,  
NORTE DA AMAZÔNIA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Roraima, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, para obtenção do título de mestre.

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

Boa Vista  
2008

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)

N633 Nicodem, Steven.

Caracterização da matéria orgânica do solo sob diferentes coberturas vegetais no Parque Nacional do Viruá em Roraima, norte da Amazônia/ Steven Nicodem. – Boa Vista, 2008.

67 f.

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

Dissertação (Mestrado) – Recursos Naturais - Universidade Federal de Roraima.

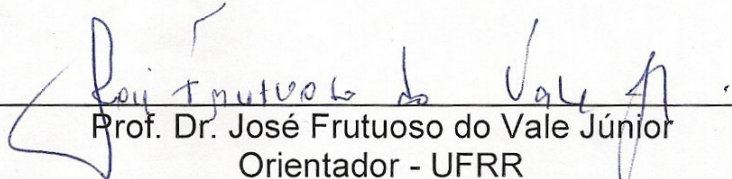
1 – Solo. 2 - Roraima. I. Título. II – Vale Jr., José Frutuoso.

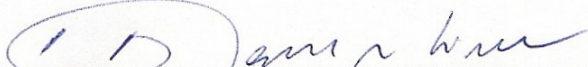
CDU – 641.41

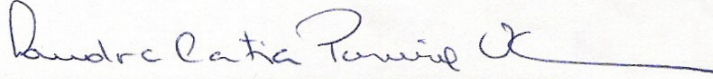
**STEVEN NICODEM**

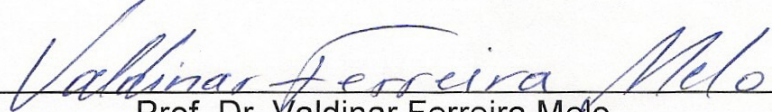
**Caracterização da matéria orgânica do solo sob diferentes coberturas vegetais no Parque Nacional do Viruá em Roraima, norte da Amazônia**


Dissertação apresentada como pré-requisito para conclusão do Curso de Mestrado em Recursos Naturais da Universidade Federal de Roraima, defendida em 30 de outubro de 2008 e avaliada pela seguinte Banca Examinadora:

  
Prof. Dr. José Frutuoso do Vale Júnior  
Orientador - UFRR

  
Prof. Dr. Hedinaldo Narciso Lima  
Membro - UFAM

  
Profa. Dra. Sandra Cátia Pereira Uchoa  
Membro - UFRR

  
Prof. Dr. Valdinar Ferreira Melo  
Membro - UFRR

  
Prof. Dr. Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer  
Membro - UFV



Ao Autor da vida  
e à vida que Nele encontrei.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus que tudo criou, e apesar da sua imensidão se fez pessoal e acessível.

Aos meus pais, David Ernest Nicodem e Corliss Townsend Nicodem, pelo cuidado e amor, que nem a distância puderam esmaecer.

Ao meu irmão, cunhada e sobrinho - Mark, Rosana e Noah - alegria, espontaneidade e sorrisos distribuídos de graça e a quem quiser.

À Universidade Federal de Roraima.

Ao PRONAT – Programa de pós-graduação em Recursos Naturais.

Ao Professor e orientador José Frutuoso do Vale Júnior pelo incentivo e atenção constantes.

Aos colegas do mestrado que se tornaram amigos: Wolney Parente Júnior e Diego Almeida.

Aos professores que se empenharam em nos fazer progredir.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA - por autorizar a realização de análise em suas dependências.

Ao Dr. Gilvan Barbosa Ferreira, Pesquisador da EMBRAPA-RR e à Ms. Rita de Cássia Pompeu de Sousa, técnica do órgão pelo apoio.

À Stefanny Martins, Alex, Márcio, Maurício e Luzia pelo apoio no laboratório.

Ao Ibama e Parque Nacional do Viruá por permitir que o estudo se realizasse no local.

À Beatriz e Antônio Lisboa que ajudou com logística, informações e material do Parque Nacional do Viruá.

Ao Moisés Mourão Júnior pelo apoio estatístico nas análises de respirometria.

À FUNBIO pelo apoio financeiro.

À todos que de forma direta ou indireta me auxiliaram na conclusão deste trabalho.

O conhecimento traz orgulho, mas o amor edifica.

Ainda que eu fale as línguas dos homens e dos anjos e saiba todos os mistérios e todo o conhecimento se não tiver amor, nada serei, nada disso me valerá.

(1 Coríntios 8.1 e 13.1-3, trechos)

## RESUMO

O presente trabalho objetivou caracterizar a matéria orgânica do solo (MOS) sob formações florestais, campinarana florestada, campinarana arbóreo-arbustiva, campinarana gramíneo-lenhosa e formação pioneira no Parque Nacional do Viruá, no estado de Roraima. Foram feitas amostragens para caracterização e classificação do solo e coleta de amostras para quantificação de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total, carbono orgânico nas frações húmicas e atividade microbiana. A determinação de COT foi feita pela oxidação com dicromato e uso de fonte externa de calor; a de Nitrogênio total foi feita pelo método de Kjeldahl. A atividade microbiana foi avaliada pela respirometria, e o carbono orgânico das frações húmicas foi determinado segundo a técnica de solubilidade diferencial seguida pela oxidação com dicromato e uso de fonte externa de calor método de dicromatometria. Também foram feitas análises de rotina e granulometria. Os solos estudados tiveram elevado oligotrofismo, onde os principais indicadores de fertilidade como, pH, soma de base (SB), saturação por bases (V) e MOS apresentaram valores muito baixos. Os solos sob campinarana florestada apresentaram os valores mais elevados de capacidade de troca catiônica (CTC) efetiva ou total, evidenciando a expressiva participação da MOS na CTC destes solos, que são essencialmente arenosos. As Fitofisionomias abertas como campinarana gramíneo-lenhosa, campinarana arbóreo-arbustiva e formação pioneira, apresentaram valores de COT mais baixos do que as formações florestais. As campinaranas florestadas tiveram valores superiores às áreas de floresta ombrófila densa. Os maiores valores de atividade microbiana estão relacionados com ecossistemas florestais sobre solos sem limitações físicas ou hídricas e melhores condições químicas. O pico inicial na evolução de  $C-CO_2$  se deve principalmente pela decomposição da necromassa e dos materiais lábeis presentes no solo. Os solos com os maiores valores superficiais de respiração apresentaram uma redução na atividade microbiana em subsuperfície, enquanto que os locais que apresentaram valores mais baixos de respiração tiveram uma certa uniformidade em profundidade na atividade microbiana. Nas campinaranas florestadas houve um predomínio da fração húmica sobre ácidos húmicos e destes sobre ácidos fúlvicos, justificado pela degradação limitada da MOS devido a alta quantidade de compostos ricos em polifenóis e maior lignificação do material. Nas demais fitofisionomias estudadas houve o predomínio da fração húmica sobre ácidos fúlvicos e destes sobre ácidos húmicos. Na formação pioneira, campinarana gramíneo-lenhosa e campinarana arbóreo-arbustiva este predomínio de ácido fúlvico sobre ácido húmico pode ser justificado pelo fato do material do estrato gramíneo ser formado de material de mais fácil decomposição aliado a condições ambientais que propiciaram uma intensa oxidação da MOS. A perda de substâncias húmicas dos solos de campinarana está ligada à presença de águas escuras, ricas nestas substâncias, drenadas naqueles locais. O predomínio de ácidos húmicos nas campinaranas florestadas está relacionado ao aumento do desenvolvimento radicular da vegetação ali existente que, em última análise, garante uma menor perda de nutrientes na ciclagem daquelas campinaranas e, portanto, a sustentabilidade desses ecossistemas.

Palavras-chaves: Carbono, Substâncias húmicas, Campinarana, Neossolo quartzarênico.

## ABSTRACT

The present research characterized the Soil Organic Matter (SOM) under dense ombrophilous forest, “campinarana florestada” (a regional vegetation which grows on sandy soils and has trees; also known as “white sand vegetation”), “campinarana arbóreo-arbustiva” (campinarana with lower vegetation and more open space), “campinarana gramíneo-lenhosa” (low grass campinarana with occasional presence of sparse woody vegetation) and pioneer formations on Viruá National Park, on the state of Roraima, north of Brazilian Amazon. Sampling was made for characterization and classification of soil and for quantification of Total Organic Carbon (TOC), Total Nitrogen, organic carbon of the humic fractions and microbial activity. TOC determination was made by bichromatometry with external use of heat; Total nitrogen was done by the kjeldahl method. Microbial activity was determined by respirometry, and organic carbon of the humic fractions was done by bichromatometry. Routine analyses and granulometry was also done. The studied soils revealed high level of oligotrophism, where the main indicator of fertility: pH, sum of bases (SB), base saturation (%V) and SOM presented very low values. The soils under “campinarana florestada” presented the higher values of cation exchange capacity (CTC) effective and total, showing an expressive participation of SOM on CTC of these soils, which are essentially sandy. The Open Phytophysionomies, such as “campinarana gramíneo-lenhosa”, “campinarana arbóreo-arbustiva” and pioneer formations, revealed lower TOC values than forestall formations. The “campinaranas florestadas” obtained even higher values than the dense ombrophilous forest. The higher values of microbe activity are related with forestall ecosystems over soil without physical or hydric limitations and with better chemical conditions. The initial peak of C-CO<sub>2</sub> evolution is mainly due to the decomposition of necromass and of labile material present in the soil. The places with the higher superficial values of respiration presented a reduction of microbe activity in sub superficial soil, while the places that present lower values of respiration obtained a certain uniformity in depths in relation to microbe activity. There was a predominance of humin fraction over the humic acids and their predominance over the fulvic acids in “campinarana florestada”. This was due to the SOM limited degradation, because of rich polyphenolic compounds and higher lignification material. The other phytophysionomies studied presented a predominance of humin fraction over the fulvic acids. In the pioneer formation, “campinarana gramíneo-lenhosa” and “campinarana arbóreo-arbustiva” the predominance of fulvic acids over the humic acids takes place due to the fact that the grassy stratum material is of easier decomposition for its atmosphere conditions allows an intense SOM oxidation. The loss of humic substances in the vegetation soils is associated with the presence of dark water which is rich in these substances that are drained in those sites. The prevalence of humic acids in “campinarana florestada” is associated with the increasing root development of the present vegetation, which assures smaller nutrients losses in the vegetations; therefore it assures the sustainability of their ecosystems.

Key words: Carbon, Humic substances, Campinarana, white-sand vegetation, entisol.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Localização do PARNA Viruá .....	22
FIGURA 2 - Média do CO <sub>2</sub> evoluído na profundidade superficial (0 a 0,15 m) .....	40
FIGURA 3 - Média do CO <sub>2</sub> evoluído na profundidade subsuperficial (0,15 a 0,30 m) ....	41
FIGURA 4 - Média do CO <sub>2</sub> evoluído acumulado na profundidade superficial (0 a 0,15 m) ...	43
FIGURA 5 - Média do CO <sub>2</sub> evoluído acumulado na profundidade subsuperficial (0,15 a 0,30 m) .....	44
FIGURA 6 - Correlação linear entre os valores de COT (carbono orgânico total) e HUM (fração humina) das amostras superficiais .....	49

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Fitofisionomias e classe de solo em cada local de coleta.....	26
TABELA 2 - Análise Granulométrica dos perfis de solo descritos e coletados nas áreas do PARNA Viruá .....	30
TABELA 3 - Propriedades químicas dos perfis amostrados.....	32
TABELA 4 - Carbono Orgânico Total ( $\text{dag Kg}^{-1}$ ) do solo sob diferentes vegetações em 8 locais do PARNA Viruá, em duas profundidades .....	33
TABELA 5 - Nitrogênio Total ( $\text{g Kg}^{-1}$ ) do solo sob diferentes vegetações em 8 locais do PARNA Viruá, em duas profundidades .....	35
TABELA 6 - Relação C:N do solo sob diferentes vegetações em 8 locais do PARNA Viruá, em duas profundidades .....	37
TABELA 7 - Atividade Microbiana acumulada ( $\text{C-CO}_2$ $100 \text{ cm}^{-3}$ ) por 36 dias para solo sob diferentes vegetações em 8 locais do PARNA Viruá, em duas profundidades .....	39
TABELA 8 - Valores dos coeficientes de ajuste ao modelo para a evolução de C-CO <sub>2</sub> de solo de 8 locais, em duas profundidades .....	44
TABELA 9 - Teores de carbono nas frações ácido fúlvico, ácido húmico e humina, no somatório destas frações, em relação ao solo integral, teor de carbono orgânico total, e relações AcHum/AcFul, EM e C/N dos solos estudados ...	45
TABELA 10 - Proporções das frações ácido fúlvico, ácido húmico e humina .....	47
TABELA 11 - Coeficientes de correlação linear entre as diferentes frações húmicas e com o COT .....	48

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Matéria Orgânica do Solo	14
1.2	Atividade Microbiana	18
1.3	Caracterização dos solos do PARNA Viruá	20
2	OBJETIVOS	22
2.1	Objetivo Geral	22
2.2	Objetivos Específicos	22
3	MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1	Localização e acesso	23
3.2	Caracterização do meio físico e vegetação do PARNA Viruá	24
3.3	Trabalho de Campo	24
3.4	Caracterização dos locais amostrados	25
3.4.1	Floresta ombrófila densa	25
3.4.2	Campinarana florestada	26
3.4.3	Campinarana arbóreo-arbustiva	26
3.4.4	Campinarana gramíneo-lenhosa	26
3.4.5	Formação pioneira	26
3.5	Preparo das amostras	27
3.6	Trabalho de laboratório	27
3.6.1	Caracterização química e física dos perfis do solo	27
3.6.2	Análise Estatística	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1	Caracterização dos solos	30
4.2	Carbono Orgânico Total	34
4.3	Nitrogênio Total	36
4.4	Relação Carbono/Nitrogênio no solo	37
4.5	Atividade Microbiana	39
4.6	Carbono orgânico das frações húmicas	46
4.6.1	Fração ácidos fúlvicos	46
4.6.2	Fração ácidos húmicos	47
4.6.3	Fração humina	48
4.6.4	Relação ácido húmicos / ácidos fúlvicos	50
5	CONCLUSÕES	54
	REFERÊNCIAS	55
	ANEXO	63



## 1 INTRODUÇÃO

O Estado de Roraima apresenta várias unidades de conservação, dentre as quais destaca-se o Parque Nacional do Viruá (PARNA Viruá) por apresentar diversas fitofisionomias e ecossistemas singulares no cenário amazônico.

Das fitofisionomias presentes no PARNA Viruá, algumas estão presentes em outros locais no Estado, como formas de savana e floresta, contudo a forma fisionômica marcante no PARNA Viruá é a campinarana. Esta é uma paisagem caracterizada por vegetação de porte baixo (3-4 m), aberta e escleromórfica, que ocorre sempre em solos arenosos de baixa fertilidade, principalmente em áreas de influência da bacia do Rio Negro. São ambientes que, devido às condições edafológicas, passam por um déficit hídrico extremo nos períodos sem chuva. Apresentam ambientes com baixa diversidade, porém com alto endemismo (BARBOSA; FERREIRA; 2004a; 2004b).

O termo “campinarana” na região amazônica ainda é muito controverso, sendo freqüentemente usado também o termo “campina”, que no passado foi chamado de “vegetação de solos de areia branca” e até “caatinga amazônica”, por estarem presentes principalmente sobre solos muito arenosos (SIOLI, 1960; LISBÔA, 1975; BARBOSA; FERREIRA; 2004a; 2004b). Sioli (1960), descrevendo estas vegetações, diz: “são definidas não somente por uma pobreza notável em espécies, mas, principalmente por estas próprias espécies (...) que ocorrem exclusivamente nas mesmas. Desta maneira, não podem estas “caatingas” ser consideradas como uma floresta alta amazônica degradada. Além disto, as “caatingas” são de porte bem mais reduzido, mais aberto e mais ralo, do que a “mata da terra firme””.

Quinze anos depois desta descrição Andersen, Prance e Albuquerque (1975) enfatizaram que naquela época havia poucos estudos sobre este tipo de vegetação; contudo na mesma época e nos anos que se seguiram, foram publicados vários trabalhos realizados em áreas de campinarana abrangendo tópicos como: microclima do solo, estrutura da vegetação, movimento subterrâneo e nitrogênio da água, e principalmente estudos de caracterização desta vegetação (RIBEIRO; SANTOS, 1975; LISBÔA, 1975; SANTOS; RIBEIRO, 1975; ANDERSON; PRANCE; ALBUQUERQUE, 1975; PRANCE, 1975; REICHARDT; SANTOS; NASCIMENTO FILHO; BACCHI, 1975; BRAGA; BRAGA, 1975; KLINGE; HERRERA, 1978; KLINGE, 1978; LLERAS; KIRKBRIDE, 1978; RIBEIRO; BRINGEL; SANTOS, 1978; SANTOS; RIBEIRO; RIBEIRO; BRINGEL, 1981; ANDERSON, 1981).

Lisbôa (1975) na sua revisão bibliográfica sobre esta vegetação faz distinção entre

campinarana e campina, na qual a primeira teria porte maior e a segunda apresentaria porte de até 3-4 m, mas com predominância de herbáceas. Reporta, ainda, que as campinas são “habitats” de produtividade limitada e por este fato acredita-se que a reduzida comunidade animal destes ambientes seja conseqüência da forte seleção exercida pelas plantas em função das altas concentrações de substâncias tóxicas existentes em seus órgãos, que impedem a abundância de animais herbívoros nestas áreas. Janzen (1980), comentando sobre a “vegetação de solos de areia branca”, sugere que a matéria orgânica derivada desta vegetação seja muito rica em compostos secundários, como taninos, o que dificultaria tanto a herbivoria das folhas quanto a decomposição da matéria orgânica, sendo que os ácidos húmicos daí derivados seriam carregados para os rios gerando águas escuras.

Naquela época já se procurava fazer distinções entre as diferentes feições das campinaranas, fazendo as separações, principalmente, de acordo com a altura da vegetação (ANDERSON, 1981). Também foram verificadas distinções entre as campinaranas e florestas de terra firme. Elementos típicos da floresta, como as lianas, são incomuns ou completamente ausentes nas campinaranas. Nos locais onde a vegetação arbórea predomina, a área é freqüentemente caracterizada por um acúmulo acentuado de serapilheira.

Em dois estudos realizados por Barbosa e Ferreira (2004a; 2004b) em campinas no estado de Roraima, no município de Cantá, os autores encontraram esta vegetação crescendo em topografia plana e solo arenoso (Espodosolo), cuja espécie *Humiria balsamifera* (Aubl.) St. Hill. representa mais de 60% da biomassa arbóreo-arbustiva deste ambiente. No trabalho desenvolvido por Sioli (1960) foi verificado que a ocorrência de campinaranas em meio a outros tipos de vegetação se deveu quase que exclusivamente a diferença entre os solos, sendo que estes solos foram arenosos.

Em recente delineamento da vegetação do PARNA Viruá (GRIBEL et al., 2008) foram apresentados os principais grupos de tipologias vegetacionais que ocorrem na área de estudo: (1) Floresta ombrófila; (2) Campinaranas; e (3) Sistemas edáficos de primeira ocupação (ou formações pioneiras). Estes três grupos foram ainda subdivididos de acordo com as características de solo, tempo alagado, cota altimétrica etc. Os autores apresentam também uma lista das espécies inventariadas em cada local. O grupo formado pelas florestas ombrófilas apresentaram as seguintes características, e foram subdivididas como se segue:

São florestas com fisionomia e composição florística típicas da hiléia amazônica, com grande porte (altura 35-45 m), estratificadas e com alta diversidade de espécies arbóreas. Na área do PARNA Viruá podem ser classificadas, usando os critérios de Veloso et al. (1975, 1991) como: A floresta ombrófila densa submontana, são florestas de encosta sob solos relativamente delgados e com afloramentos, que recobrem trechos mais altos dos morros residuais da Serra do Preto e da Serra da Perdida, em altitudes

superiores a 100 m. A floresta ombrófila densa das terras baixas (ou *floresta de terra firme*), são florestas que ocorrem em áreas não inundáveis, normalmente sobre argissolos profundos, em cotas altimétricas abaixo de 100 m, na área de embasamento do relevo residual das Serras do Preto e da Perdida. São encontradas também em áreas não inundáveis no tempo presente (provavelmente paleovárzeas) das bacias do rio Branco, rio Anauá e tributários. (...) A floresta ombrófila densa aluvial (ou *florestas de várzea e de igapó*), são encontradas nos terraços aluviais dos flúvios, sob solos aluviais e em áreas sazonalmente inundáveis nas margens dos rios Branco e Anauá (*floresta de várzea*). São classificadas nesta categoria também as florestas inundáveis as margens dos igarapés de águas pobres em sedimentos (*florestas de igapó*), como as das margens do igarapé Iruá. (...) As campinaranas são formações vegetais típicas do Escudo Guianense, especialmente das bacias do Rio Negro, Orinoco e Branco, ocorrendo também nos territórios do Suriname, Guiana, Venezuela e Colômbia. (...) As campinaranas ocupam geralmente áreas tabulares arenosas, normalmente bastante lixiviadas pelas chuvas durante os últimos 10.000 anos (Veloso 1991; Veloso et al. 2001). Além das áreas tabulares, encontram-se campinaranas em amplas depressões fechadas, sob solos podzol hidromórficos, encharcadas no período chuvoso, quando o lençol freático torna-se aflorante ou sub-superficial. As campinaranas podem ser classificadas, segundo critérios de Veloso (1991), em três subgrupos de formação: campinarana florestada, *campinarana arbórea-arbustiva* e *campinarana gramíneo-lenhosa*. Estas tipologias correspondem, provavelmente, a diferentes estágios sucessórios da cobertura vegetal. A campinarana florestada é um tipo de formação vegetal que ocorre nos pediplanos tabulares areníticos, constituído por uma floresta densa com árvores relativamente finas, com até 15 m de altura, e com copa mais estreitas do que as da floresta ombrófila. A camada de serapilheira sobre os solos arenosos é normalmente abundante, recobrendo um colchão de raízes superficiais de 15-30 cm de espessura. O solo apresenta perfil arenoso espesso, com grande concentração de material húmico. As árvores da campinarana florestada formam um dossel relativamente contínuo com as copas se tocando umas as outras. (...) A campinarana arbórea-arbustiva ocorre em áreas com solos menos estruturados e com maior nível de hidromorfismo do que os da formação vegetal anterior. As espécies lenhosas da campinarana-arbustiva arbórea também ocorrem na campinarana florestada, apresentando, no entanto, árvores mais baixas, raquíticas e espaçadas. (...) A campinarana gramíneo-lenhosa é tipo de vegetação que recobre planícies encharcadas em áreas de relevo deprimido e lençol freático superficial ou aflorante. O estrato herbáceo é densamente recoberto por espécies de *Lagenocarpuse* (Cyperaceae) e Poaceae. (...) Os Buritizais ou Veredas são comunidades aluviais dominadas pela palmeira *Mauritia flexuosa* (buriti) e por cobertura herbácea, que ocorrem ao longo dos cursos de água (buritizal linearizado) ou em depressões alagadas (buritizal não-linearizado). Algumas outras palmeiras, especialmente *Mauritiella aculeata* e *Euterpe precatória*, também podem ser encontradas eventualmente nos buritizais (GRIBEL et al., 2008, p. 11-15).

Como vimos, tanto nas descrições gerais das campinaranas por Sioli (1960), quanto nas ocorrências no município do Cantá-RR (BARBOSA; FERREIRA, 2004a; 2004b), e também para o caso específico destas fitofisionomias ocorrentes no PARNA Viruá, elas ocorrem sobre solo arenoso em diferentes graus de hidromorfismo. Acompanhando este fato os principais solos que ocorrem no PARNA Viruá nas áreas de campinarana são: Neossolos Quartazênicos e Espodosolos (PARENTE JÚNIOR, 2008).

As campinaranas estão frequentemente associadas à bacia do rio Negro, sendo que na Amazônia estas fitofisionomias correspondem a aproximadamente 34.277 km<sup>2</sup>, sendo quase um terço desta área no estado de Roraima (11.439 km<sup>2</sup>); estes dados foram contabilizados por Barbosa e Fearnside (2002) usando como base destes dados o projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1975).

## 1.1 Matéria Orgânica do Solo

A Matéria Orgânica do Solo (MOS) pode ser definida como “a fração orgânica incluindo resíduos (frescos e em todo os estádios de decomposição) de plantas, animais e micróbios, e o húmus relativamente estável” (NELSON; SOMMERS, 1982) ou em outras palavras “o produto da acumulação de resíduos de plantas e animais parcialmente decompostos e parcialmente ressintetizados.” (SILVA; RESCK, 1997). A MOS também pode ser definida como a fração orgânica do solo que representa um sistema complexo, composto por diversas substâncias, sendo sua dinâmica determinada pela incorporação de material vegetal e animal ao solo e pela transformação destes, via ação de diversos grupos de microorganismos, de enzimas e da fauna do solo (ZECH et al., 1997). Estas definições são amplas, pois não têm apenas um componente, mas toda uma cadeia, desde o material de origem, seja vegetal, animal ou de microorganismo, seja um produto parcial da decomposição daqueles, seja uma matéria inerte que permaneça no solo durante décadas, tudo é resumido como MOS.

Considerando a íntima relação das campinaranas com as condições do solo e regime hídrico, o solo passa a ser um importante fator determinante nestas condições. Os solos das campinaranas apresentam pouca argila sendo que, características muito importantes às plantas, como capacidade de troca catiônica (CTC) e agregação, serão pouco incrementadas pela fração argila do solo. Nestes solos, assim como na grande maioria dos solos de Roraima, que são altamente intemperizados, ácidos, com argilas cauliníticas de baixa atividade, com baixa fertilidade natural, a MOS é especialmente crítica para a manutenção da vegetação devido à sua significância não apenas para suprir nutrientes para o solo, mas também para a retenção de íons e agregação do solo (LUIZÃO; LUIZÃO, 1997).

A matéria orgânica tem importante ação em diferentes características do solo. Entre as características influenciadas pela MOS, citam-se: a capacidade de retenção de água, importante nos meses secos onde a água da chuva pode ser escassa às plantas; aumenta a disponibilidade de micronutrientes para as plantas, por formar complexos estáveis com alguns íons metálicos; aumenta a CTC, o que é de vital importância nestes solos onde esta é naturalmente muito baixa; melhora a estrutura do solo, ao formar agregados no solo pela cimentação das partículas minerais, o que reduz a erosão e aumenta a infiltração da água no solo; é fonte de nutrientes, pela sua decomposição; e forma compostos que se complexam com alumínio e manganês tóxicos (SONNTAG, 1995; SILVA; RESCK, 1997; LUIZÃO; LUIZÃO, 1997; BAYER; MIELNICZUK, 2008).

No entanto Luizão e Luizão (1997) sugerem duas características que conferem a importância da MOS como indicador para a avaliação da relação desta com a vegetação são: “(1) sua contribuição ao suprimento de nutrientes no solo é desproporcionalmente grande em relação à sua massa (de 2 a 4% do carbono orgânico) no solo e (2) pode responder mais rapidamente a mudanças nas práticas de manejo do solo” . A MOS é tradicionalmente calculada com base em análise de carbono (C) do solo multiplicado por um fator. Atualmente se discute que o fator deve ser ajustado às condições locais ou apresentar os dados apenas em carbono, como foi feito neste trabalho.

As definições de MOS vistas acima, por serem muito genéricas, não distinguem o seu funcionamento e os compartimentos, sendo necessário fazer subdivisões de acordo com similaridades físicas e químicas. A primeira subdivisão é entre o componente vivo da MOS e o morto. Desta forma, ao componente vivo compreende as raízes de plantas (5 a 10% do total desta subdivisão), macrorganismo ou fauna (15 a 30%) e microrganismo (60 a 80%). O somatório do componente vivo raramente atinge 4% do carbono orgânico total (SILVA; RESCK, 1997).

O componente morto apresenta possibilidade de chegar a 98% do carbono orgânico total (COT), podendo ser subdividido em fração leve (matéria macrorrgânica) e fração pesada, que contém o húmus. A matéria macrorrgânica é proveniente diretamente da serapilheira e é, na maioria das vezes, a menor fração do componente morto contendo, comumente, 10 a 30% do COT. Consiste principalmente de resíduos de plantas em vários estágios de decomposição com diâmetro médio menor do que 2 mm, porém, maior do que 0,25 mm, apresentando densidade relativamente baixa, cerca de  $1,0 \text{ g cm}^{-3}$  (ANDERSON; INGRAM, 1993). A serapilheira, embora também seja constituída de resíduos de plantas e de alguns animais mortos, é material que fica sobre a superfície do solo e, portanto não é um constituinte da MOS.

A fração pesada, denominada de húmus, é normalmente subdividida em substâncias húmicas e não-húmicas. As substâncias não-húmicas constituem cerca de 30% do húmus e apresentam características físicas e químicas reconhecidas, tais como os carboidratos, proteínas, peptídeos, aminoácidos, gorduras, ceras, alcanos e ácidos orgânicos de baixo peso molecular. A maior parte desses compostos é atacada de forma relativamente rápida pelos microrganismos do solo, o que lhes confere uma persistência muito pequena. A maior porção da MOS consiste de substâncias húmicas. Estas são amorfas, de coloração escura, hidrofílicas, ácidas, parcialmente aromáticas e com substâncias orgânicas quimicamente complexas que variam em peso molecular de poucas centenas até milhares (THENG; TATE; SOLLINS,

1989). Pode ser definido como um grupo de compostos orgânicos produzidos naturalmente por meio da atividade biológica, mais especificamente compostos polimerizados pela ação microbiana (SILVA; RESCK, 1997).

As substâncias húmicas podem ainda ser subdivididas quimicamente em três categorias ou frações: ácido fúlvico (AcFul), solúvel em ácido e base; ácido húmico (AcHum), solúvel apenas em base; e humina (HUM), que não é solúvel em nenhum desses meios (SILVA; RESCK, 1997; CAMARGO; SANTOS; GUERRA, 1999; GUERRA, et al., 2008). A separação é operacional e não há um limite entre estas frações em termos de propriedades físico-químicas. Entretanto algumas propriedades podem ser avaliadas quanto às suas tendências (HAYES; SWIFT, 1978).

Os processos de transformação dos resíduos de planta e animais (precursores da MOS) adicionados ao solo até a formação do húmus e, também, os processos de mineralização e imobilização, estão muito relacionados com a disponibilidade e qualidade dos materiais, ou seja, a sua composição. Os componentes solúveis tornam-se rapidamente disponíveis como fontes de energia para os organismos do solo e as hemiceluloses são convertidas em massa microbiana. Os componentes mais resistentes, tais como a lignina, podem persistir no solo por longo tempo, em especial sob solos alagados. Além disso, grande parte dos resíduos vegetais perde carbono em forma de CO<sub>2</sub> antes mesmo que ocorra a interação com o solo, o que reduz bastante o tempo de residência da maioria dos compostos no sistema (SILVA; RESCK, 1997).

Partes de MOS podem ser mineralizadas rapidamente e outras, provavelmente associadas a agregados, podem demorar até mil anos ou mais para sua ciclagem. Isto evidenciou que algumas substâncias do grupo de substâncias húmicas apresentam comportamento diferenciado quanto ao potencial de mineralização dentro da MOS (JANSSON, 1958). Dessa forma, ao invés de considerá-la apenas sob os aspectos químicos e funcionais, como os de ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina, a MOS pode também ser alocada em compartimentos (SILVA; RESCK, 1997).

Os compartimentos podem ser divididos em lábeis e estáveis. Dentre as formas lábeis, o carbono mineralizável se origina da quebra das moléculas orgânicas, com a microbiota funcionando como agente de decomposição pela degradação dos substratos incorporados ao solo, convertidos em energia e biomassa, pelo processo de respiração (RODRIGUES et al., 1995).

A MOS não é apenas um tipo de material que se encontra no solo ou algo que preenche certo compartimento, tampouco é algo fixo e imutável. Trata-se de um movimento dinâmico de materiais orgânicos que interagem com o meio, resultado de um longo e

complexo processo de decomposição, sendo que entre estes extremos há inúmeros produtos e subprodutos. Portanto a dinâmica da MOS é controlada principalmente pela: 1. Humificação – transformação de material macromorfológicamente identificável em componentes húmicos amorfos; 2. Estabilização da MOS pelas interações com componentes inorgânicos; 3. Produção e translocação de matéria orgânica dissolvida; e 4. Mineralização – transformação de elementos organicamente presos (C, N, S, P) em compostos inorgânicos ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ) (ZECH et al. 1997; GUERRA, et al., 2008).

A decomposição da MOS está intimamente relacionada com todas estas vias, sendo que numa fase inicial da decomposição, o processo dominante é a mineralização de componentes lábeis, processo que ocorre de maneira rápida. Posteriormente, mineralização ainda ocorre, contudo num ritmo mais lento retardado pelo acúmulo de moléculas de difícil decomposição (ZECH, et al. 1997).

Estas quatro vias e a decomposição, como uma forma geral, são controladas por inúmeros fatores. Além dos fatores climáticos e físicos, há também os fatores químicos como potencial de hidrogênio (pH), relação C/N e qualidade do material (conteúdo de polifenóis e lignina) (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Na maioria dos ambientes naturais há um equilíbrio entre estes fatores, fazendo com que haja certa estabilidade ao longo de uma escala de tempo grande na quantidade de MOS. Há, portanto, uma perda de MOS aproximadamente igual ao que é adicionado ao solo. Contudo, nestes ambientes, qualquer influência que cause uma perda no equilíbrio nestas vias da dinâmica da MOS irá causar um acúmulo ou uma redução de carbono. Como exemplo destes fatores percebe-se que nas regiões temperadas tanto a temperatura quanto precipitações elevadas resultam em taxas de decomposição mais elevadas nos trópicos. No entanto, estes mesmos fatores possibilitam maior produção de biomassa nos trópicos, havendo assim um equilíbrio (BAYER; MIELNICZUK, 2008).

A mineralogia do solo também é fator importante na dinâmica da MOS. Minerais como óxidos de ferro e alumínio, além de argilossilicatos, como a caulinita, característicos de solos altamente intemperizados, que têm um avançado grau de intemperismo típicos das regiões tropicais. Além disso, os grupos funcionais dispostos na superfície determinam a grande interação entre esses minerais e a MOS, possibilitando uma maior estabilidade desta nos solos que apresentam estes tipos de minerais (BAYER; MIELNICZUK, 2008). Outros fatores que apresentam correlação com a disponibilidade de MOS são: estoque de carbono, estoque de fósforo total, estoque de argila, CTC, reserva de nitrogênio e pH (ZECH, et al. 1997).

Cabe, ainda, delinear alguns conceitos sobre a reatividade das frações húmicas. As substâncias húmicas presentes na MOS possuem capacidade de reagir na solução do solo dentro de uma faixa ampla de pH, permitindo a interação com macro e micronutrientes, metais pesados, agrotóxicos, minerais de argila e óxidos. Esta reatividade é consequência da presença de diversos grupos funcionais nas substâncias húmicas inclusive: COOH, OH fenólico, OH enólico, OH alcoólico, quinona, hidroxiquinona, lactona e éter (CHANG CHIEN; WANG; HUANG, 2006; CANELLAS et al., 2008).

A integração da MOS com macro e micronutrientes é consequência principalmente dela apresentar CTC. A contribuição da matéria orgânica na CTC dos solos é tanto maior quanto menor for a contribuição da fração mineral (CANELLAS et al., 2008).

## **1.2 Atividade Microbiana**

A atividade respiratória é o processo pelo qual os substratos incorporados ao solo sofrem degradação por microrganismos do solo liberando energia e massa. Essa atividade respiratória pode ser avaliada em termos de produção de CO<sub>2</sub>. A taxa de evolução de CO<sub>2</sub> do solo tem sido utilizada para avaliar o carbono mineralizável, de maior “labilidade”, considerando que a matéria orgânica lábil está intimamente relacionada com a dinâmica de crescimento da microbiota do solo (GREGORICH; ZECH, 1990), tanto pela dinâmica da decomposição da MOS pela atividade biológica, quanto pela saída de carbono do sistema (MINHONI et al., 1996 apud VEGA COREA, 1998). Parâmetros microbiológicos do solo, como a atividade microbiana, têm sido visto como indicadores precoces e sensíveis ao estresse do solo e podem ser usados para prever tendências a longo prazo na qualidade do solo (ARAÚJO; MONTEIRO, 2006).

Os processos de decomposição da serapilheira e de formação e mineralização da matéria orgânica do solo são determinados pelo clima, pelas condições do solo (pH, umidade, conteúdo de bases trocáveis etc.), pela qualidade do material, pela atividade das raízes das plantas, pelos microrganismos, pelos animais e pelo manejo praticado (IGUE, 1983; ANDERSON; INGRAM, 1989; KEPLER, et al., 1990; GAMA-RODRIGUES, GAMA-RODRIGUES, 2008). De forma específica, as variações no microclima do solo afetam a atividade microbiana, que subsequente afeta a ciclagem geral de carbono e nitrogênio. No contexto do microclima, a umidade do solo tem uma atuação muito relevante na atividade microbiana e na ciclagem de nutrientes (EATON, 2001).



Zech et al. (1997) afirmam que a qualidade química tanto da serapilheira quanto do material incorporado ao solo (matéria macrororgânica) têm uma influência significativa na atividade microbiana e, portanto, na emissão de CO<sub>2</sub> num determinado local, mas que na comparação entre locais diferentes, em geral, a temperatura e o regime hídrico são mais importantes. Quantidades altas de carboidratos e proteínas com uma relação C/N estreita podem promover a mineralização de carbono, enquanto a alta aromaticidade e conteúdos altos de alquila aparentemente reduzem as taxas de retorno. Ainda segundo os autores, outra fonte de emissão de CO<sub>2</sub> importante é a necromassa microbiana. Nos períodos de seca prolongada, a população microbiana morre e é ativamente mineralizada quando o solo é novamente molhado por uma chuva. Este fato pode ser observado quando solo seco é incubado e posteriormente molhado. A respiração inicial (dia 1) é até dez vezes maior que no período subsequente. Este aumento pode ser atribuído à mineralização da necromassa pelos microorganismos.

A atividade microbiana do solo é fruto do desenvolvimento dos microrganismos, portanto ligada diretamente à biomassa microbiana, que por sua vez depende da disponibilidade de MOS, aeração, umidade, temperatura, estrutura, textura, nutrientes, pH e presença de microrganismos parasitas e antagonistas. A biomassa microbiana é influenciada pelo teor de argila dos solos. A argila aumenta a adsorção de compostos orgânicos e nutrientes, além de proporcionar maior capacidade tampão de acidez e proteger os microrganismos contra predadores (SMITH; PAUL, 1990 apud GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES, 2008).

No Estado de Roraima já haviam sido feitos estudos que envolveram análise de atividade microbiana. Nestes estudos foi avaliado o impacto da ação antrópica em comparação à vegetação natural, quanto à respiração do solo (VALE JÚNIOR, 2000; FREITAS, 2005). Freitas (2005), que estudou o efeito da alteração da vegetação de savana para plantios de *Acacia mangium*, concluiu que a evolução de CO<sub>2</sub> pela atividade microbiana correlacionou-se positivamente com os teores de carbono orgânico e negativamente com a elevada saturação por alumínio (m) e pobreza química. Também observou maior evolução de CO<sub>2</sub> em superfície, independente do tipo de uso e de manejo. Resultados semelhantes foram encontrados por Vale Júnior (2000) que trabalhou em Argissolos, Latossolos e Cambissolos da Serra de Pacaraima, norte do estado de Roraima. Este encontrou que, sob Argissolos eutróficos, havia maior evolução de C-CO<sub>2</sub> em comparação com os Latossolos e Cambissolos. Também verificou que maior quantidade do carbono orgânico em subsuperfície foi evoluída em comparação com as amostras

superficiais, mesmo que em valores absolutos as quantidades de CO<sub>2</sub> evoluídas em superfície fossem maiores.

### **1.3 Caracterização dos solos do PARNA Viruá.**

Com base nos dados do projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1975) na área do PARNA Viruá predominam os solos hidromórficos, e em especial os Neossolos Quartzarênicos e Espodossolos nas áreas planas da região central; ao norte há áreas de Latossolo. Ao longo dos principais rios (Branco, Anauá e Iruá) ocorrem Gleissolos, e em áreas isoladas de relevos residuais ocorrem os Neossolos Litólicos. Todos apresentaram distrofia, ou seja, saturação por bases inferiores a 50 %.

Os dados do Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) do Estado (BRASIL, Trabalho não publicado) apresentaram dados semelhantes. As principais diferenças foram observadas ao norte e ao longo do rio Branco, onde o ZEE, diferentemente do RADAMBRASIL, apresenta a área como Argissolo Amarelo, Argissolo Acinzentado e Latossolo Amarelo; outra diferença é na área sul do parque entre os rios Viruá e Anauá, o RADAMBRASIL considera a área como Neossolo Quartzarênico e Espodossolo, enquanto que o ZEE identifica a área como Argissolo acinzentado, Planossolo Hidromórfico e Espodossolo.

Em avaliação dos solos de Roraima, Melo, Gianluppi e Uchôa (2004) indicaram os solos com maiores teores de carbono orgânico os Gleissolos e Neossolos Quartzarênicos, atribuindo para ambos as condições de drenagem deficiente e pH baixo. Observaram nos Neossolos Quartzarênicos que o carbono se concentrou nos 15 cm superficiais do solo. Vale Júnior e Sousa (2005) especificaram que os Neossolos Quartzarênicos apresentam baixa CTC, baixa saturação por bases (V%), são distróficos e ácidos. Os Espodossolos são solos essencialmente arenosos caracterizados pelo acúmulo de quartzo, em vez de minerais da argila, especialmente da caulinita. Há iluviação de matéria orgânica e conseqüente dissolução de caulinita e corrosão do quartzo (HORBE; HORBE; SUGUIO, 2003; 2004; EMBRAPA, 2006).

Dentre outras, as classes de solo predominantes no PARNA Viruá, nas áreas de campinaranas são de solos arenosos como Neossolos Quartzarênicos e Espodossolos, o que reafirma a importância da MOS.

Portanto, como o PARNA Viruá abriga um dos ecossistemas mais complexos da Amazônia, desenvolvidos sobre solos arenosos, hidromórficos e essencialmente oligotróficos, a

MOS assume papel importante na manutenção desses ambientes, porém, são poucos os estudos realizados. Nesse sentido, os estudos de caracterização da MOS do solo é de fundamental importância para aprofundar a compreensão das relações pedológicas com as fitofisionomias, propor práticas conservacionistas e orientar no plano de manejo desta unidade de conservação.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Caracterizar a MOS sob diferentes fitofisionomias no PARNA Viruá.

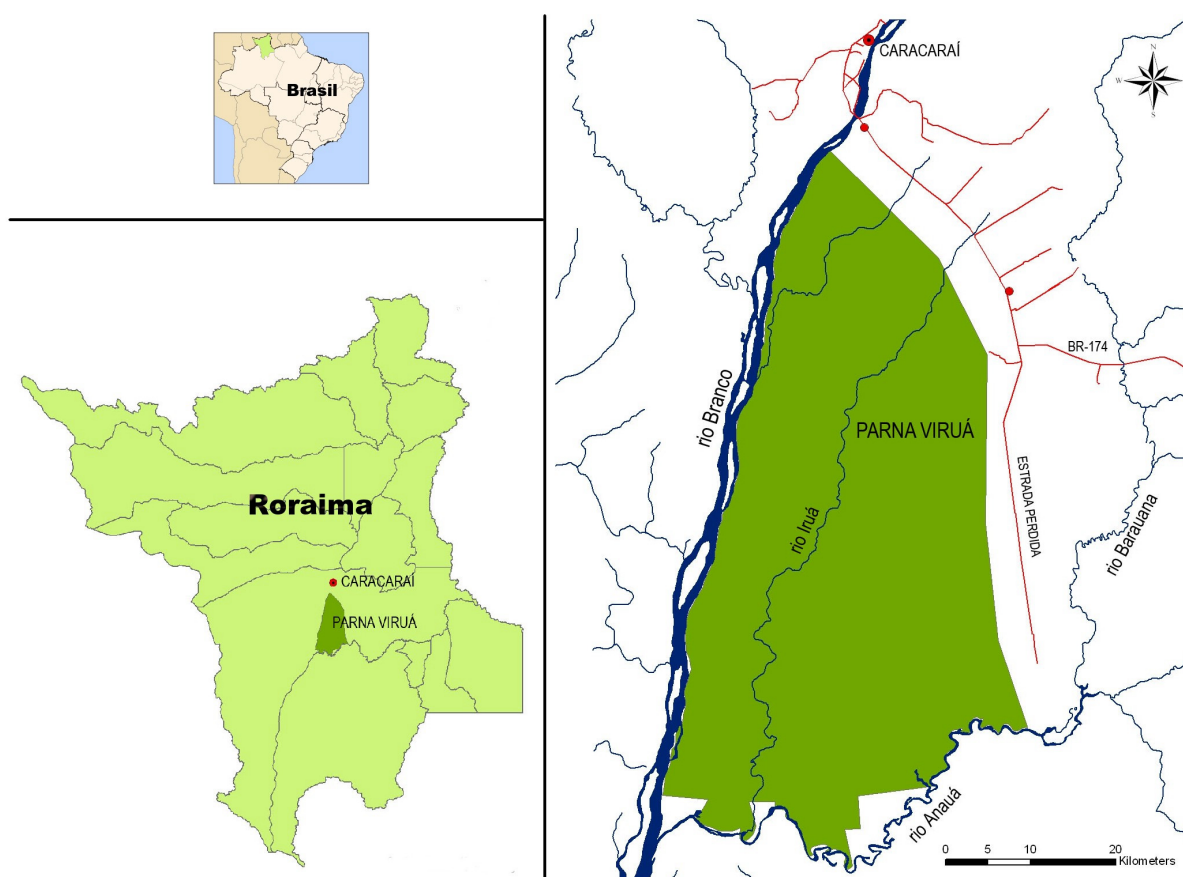
### **2.2 Objetivos Específicos**

- Quantificar o carbono orgânico total e nitrogênio total do solo sob diferentes fitofisionomias.
- Qualificar o carbono orgânico nas frações húmicas sob diferentes fitofisionomias.
- Avaliar a atividade microbiana através da evolução do CO<sub>2</sub> (Respirometria).
- Correlacionar os dados quantitativos e qualitativos de MOS com a fitofisionomias.
- Avaliar a dinâmica da MOS quanto à sustentabilidade do ecossistemas estudados.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização e acesso

O presente estudo foi realizado nas áreas de influência direta e indireta do Parque Nacional (PARNA) do Viruá, localizado no município de Caracaraí, porção central do estado de Roraima à margem esquerda do rio Branco, com área de 227.011 ha. Em comparação com outras unidades de conservação do Estado, o PARNA Viruá apresenta fácil acesso por meio da BR-174 e do rio Branco a partir da cidade de Caracaraí (figura 1).



**Figura 1** – Localização do PARNA Viruá no Estado de Roraima, Brasil.

O Decreto que criou o PARNA Viruá (BRASIL, 1998) há dez anos estabelece os limites do mesmo, e o posicionou entre os paralelos  $00^{\circ} 58' 29''$  e  $01^{\circ} 42' 25''$  Lat N e entre os meridianos  $61^{\circ} 00' 14''$  e  $61^{\circ} 15' 20''$  Long W Gr. (coordenadas geográficas aproximadas).

### 3.2 Caracterização do meio físico e vegetação do PARNA Viruá

O clima da região foi identificado por Barbosa (1997) como Am, segundo a classificação climática de Köppen, possuindo estação seca definida, mas menos rigorosa que em áreas com classificação Aw, como a região de savana, onde está inserida a capital do Estado. A precipitação está entre 1.700 e 2.000 mm ano<sup>-1</sup>, e é mais freqüente e melhor distribuída ao longo do ano que o Aw. Os meses de maior precipitação são maio, junho e julho. O clima Am é tipicamente um clima quente e úmido, com precipitação abundante durante a maior parte do tempo, um ou dois meses com precipitações inferiores a 60 mm e temperatura média no mês mais frio nunca inferior a 18 °C. Este clima domina a parte sul e oeste do estado de Roraima (BRASIL, 2002).

Em mapa de precipitações médias anuais, o Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado de Roraima indica que a maior parte da área central do PARNA Viruá está entre as isoietas de 1.800 e 1.900 mm de chuva, enquanto que da região central até o limite sul do parque no rio Anauá, está entre as isoietas de 1.900 e 2.000 mm (BRASIL, 2002).

Com base nos dados do projeto RADAMBRASIL o relevo do PARNA Viruá foi classificado em sua maior parte como superfície pediplanada, com a presença de alguns relevos residuais. Ao longo dos rios Branco, Anauá e Iruá, predomina planície fluvial inundável. Nas cabeceiras de alguns igarapés ocorrem locais de acumulação inundáveis, que consistem de “áreas aplainadas com cobertura arenosa, periodicamente e/ou permanentemente alagados, com drenagem fechada ou precariamente incorporada à rede fluvial.” (BRASIL, 1975).

As fitofisionomias predominantes são formações pioneiras, sendo que ao longo do rio Branco ocorrem locais de refúgio ligadas à planície aluvial, ao longo destas áreas de refúgio e ao norte do parque, há a ocorrência de formação pioneira arbórea sem palmeiras, que também ocorre ao longo do rio Anauá. O restante da área, que ocupa a maioria do PARNA Viruá é coberta por formação pioneira arbustiva (BRASIL, 1975). Nestes locais de formação pioneira, encontram-se vegetações de campina e campinarana, alvo deste estudo.

### 3.3 Trabalho de Campo

Na área de estudo foram delimitados seis locais de coleta no interior do PARNA Viruá, e dois nas suas imediações, selecionados em função das variações fitofisionômicas. Em cada um dos locais selecionados foram abertos perfis de solo, feita a descrição dos horizontes e

coleta de amostras para caracterização física e química, conforme o Manual de descrição e coleta de solo no campo (SANTOS et al., 2005).

Nas proximidades de cada perfil aberto, num raio de aproximadamente 5 a 7 metros, foram feitas coletas de amostras de solo para caracterização de MOS. Esta coleta foi realizada em três (3) repetições, e em cada uma destas repetições, foram coletadas amostras em duas profundidades, a saber de 0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m.

### **3.4 Caracterização dos locais amostrados**

As amostragens foram feitas em locais com diferentes coberturas vegetais e solos presentes no PARNA Viruá. Essas áreas estão distribuídas num mosaico no PARNA Viruá e procurou-se contemplar a variação das relações solo-vegetação, conforme descrito abaixo:

#### **3.4.1 Floresta ombrófila densa**

Foram delimitados três locais sob floresta ombrófila densa, todos os três na área da Serra da Perdida, nas proximidades da sede do parque. O primeiro local de coleta denominado de “FOD1” foi na encosta da Serra da Perdida dentro do *grid* do PPBio (Programa de Pesquisa em Biodiversidade) próximo a sede do PARNA Viruá nas coordenadas UTM (Universal Transverso de Mercator) 0722.283 norte e 0164.706 leste. Este local não foi aberto perfil de solo por se tratar de solo raso (Neossolo Litólico), contudo foram feitas coletas para as determinações de COT, nitrogênio, atividade microbiana e frações das substâncias húmicas. Ainda foram delimitados mais dois locais sob floresta ombrófila densa, denominados de “FOD2” e “FOD3”. O local FOD2 está localizado nas coordenadas UTM 0719.364 norte, 0164.430 leste, próximo a estaca 2900 L1, do caminho principal do *grid* do PPBio, próximo à sede do PARNA Viruá. O local FOD3 está localizado nas coordenadas UTM 0721.189 norte, 0163.803 leste, cota 50 m, próximo a estaca 650 N2, do caminho do *grid* do PPBio, nas imediações da sede do parque. Fora o local FOD1, em cada local delimitado foi aberto um perfil de solo para identificação e coletadas amostras em três repetições, para caracterização da MOS.

### **3.4.2 Campinarana florestada**

Foram delimitados dois locais sob campinarana florestada, o primeiro situado próximo à estrada perdida e o segundo no caminho que leva da estrada perdida à Serra do Preto. O perfil “CF1” está localizado nas coordenadas UTM 0725.321 norte e 0143.993 leste e cota 69 m, próximo a estrada perdida. O local “CF2” está localizado nas coordenadas UTM 0719.120 norte e 0140.051 leste, nas margens do caminho que leva da estrada perdida à Serra do Preto.

### **3.4.3 Campinarana arbóreo-arbustiva**

Sob campinarana arbóreo-arbustiva foi delimitado um local denominado “CAA”, localizado próximo a estrada perdida e cujas coordenadas em UTM são: 0725.366 norte, 0143.997 leste, com cota 52 m.

### **3.4.4 Campinarana gramíneo-lenhosa**

Em campinarana gramíneo-lenhosa foi delimitado um local denominado “CGL”, na margem do caminho que leva da estrada perdida à Serra do Preto, e cujas coordenadas em UTM são: 0716.597 norte, 0139.300 leste, cota 53 m.

### **3.4.5 Formação pioneira**

Sob formação pioneira, com fitofisionomia do tipo graminosa com presença de buritis (*Mauritia flexuosa*), foi delimitado um local denominado “FP”, distando entre 150 e 300 m do abrigo da Serra do Preto. As coordenadas em UTM são: 0707.578 norte, 0134.103 leste.

A tabela 1 apresenta um resumo da fitofisionomia e classe de solo predominante em cada local de coleta.



**Tabela 1** – Fitofisionomias e classe de solo em cada local de coleta.

<b>Fitofisionomia</b>	<b>Sigla</b>	<b>Classe de solo</b>
Floresta ombrófila densa das terras baixas	FOD1	Neossolo Litólico
Campinarana florestada	CF1	Neossolo Quartzarênico
Campinarana arbóreo-arbustiva	CAA	Espodossolo
Campinarana florestada	CF2	Neossolo Quartzarênico
Campinarana gramíneo-lenhosa	CGL	Neossolo Quartzarênico hidromórfico
Formações pioneiras	FP	Neossolo Quartzarênico hidromórfico
Floresta ombrófila densa das terras baixas	FOD2	Latossolo Vermelho
Floresta ombrófila densa das terras baixas	FOD3	Latossolo Vermelho Amarelo

### 3.5 Preparo das amostras

As amostras de solo coletadas foram secas ao ar e separadas para avaliação de atividade microbiana. Parte do solo foi, ainda, destorroado e passado em peneira com malha de 2 mm, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA) (EMBRAPA, 1997). Outra parte do solo foi destorroada, moída e passada em peneira com malha de 0,2 mm (60 mesh), e utilizada para as análises de COT e nitrogênio total.

### 3.6 Trabalho de laboratório

#### 3.6.1 Caracterização química e física dos perfis do solo

O pH em água e em solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup> foi medido utilizando-se as proporções 1:2,5 (v/v) de solo:solução. O fósforo foi extraído com solução extratora Mehlich-1, e determinado em espectrofotômetro de absorção molecular. O potássio foi extraído com solução extratora Mehlich-1, e determinado por fotometria. Cálcio e magnésio foram extraídos com KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup> e determinado em espectrofotômetro de absorção atômica.

Alumínio trocável foi extraído com  $\text{KCl } 1,0 \text{ mol L}^{-1}$  e determinado por titulação com  $\text{NaOH } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$  na presença de indicador azul de bromotimol. Al + H foi extraído com acetado de cálcio  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  e determinado por titulação com  $\text{NaOH } 0,1212 \text{ mol L}^{-1}$  na presença de indicador fenolftaleína. O nitrogênio foi medido pelo método de Kjeldahl conforme EMBRAPA (1997). A partir dos resultados obtidos pela análise do complexo sortivo, foram calculadas a soma de bases (SB), a capacidade de troca catiônica total (T) e efetiva (t), a saturação por bases (V) e a saturação por Al, conforme EMBRAPA (1997).

A análise granulométrica dos solos foi realizada pelo método da pipeta separando o silte da argila, sendo a dispersão do solo promovida por agitação em coqueteleira em meio alcalino (EMBRAPA, 1997), porém sem proceder a destruição prévia da matéria orgânica.

A determinação de Carbono Orgânico Total (COT), foi feita usando o método de titulometria com oxidação de dicromato e uso de fonte externa de calor, adaptado de Yeomans e Bremner (1988) por Mendonça e Matos (2005).

O Nitrogênio total foi avaliado pelo método proposto pela EMBRAPA (1997), no qual o nitrogênio, inclusive o orgânico, é convertido em sulfato de amônio através de oxidação com uma mistura de  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  e  $\text{NaSO}_4$  ou  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (mineralização). Posteriormente em meio alcalino, o sulfato de amônio convertido da matéria orgânica libera amônio que, em câmara de difusão, é complexada em solução de ácido bórico contendo indicador misto, sendo finalmente determinado por acidimetria ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).

A evolução de  $\text{C-CO}_2$  foi avaliada pelo método proposto por Mendonça e Matos (2005), adaptado dos métodos de Curl e Rodriguez-Kabana (1972) e Stotzky (1965). Teve o objetivo de medir o quanto de C é respirado pela microbiota do solo ao longo de um período de tempo determinado. Este método baseia-se na captura de  $\text{C-CO}_2$ , emitido de uma amostra de solo, em solução de  $\text{NaOH}$  e sua dosagem foi feita por titulação com  $\text{HCl}$ .

O fracionamento das substâncias húmicas foi realizado em triplicatas, segundo a técnica de solubilidade diferencial, utilizando-se os conceitos de frações húmicas estabelecidos pela "International Humic Substances Society", descritos por Hayes et al. (1989), e adaptado de Swift (1996) por Mendonça e Matos (2005).

Foram calculadas as relações entre as frações ácido húmico e ácido fúlvico (AcHum:AcFul). Os teores de carbono nas frações húmicas e seu percentual em relação ao carbono orgânico total (COT) foram comparados entre si, entre estes e as demais formas de carbono, utilizando teste de Tukey.

### 3.6.2 Análise Estatística

Para a análise estatística, fez-se uso de um delineamento experimental inteiramente casualizado, em que os locais de coleta formaram os tratamentos. Utilizaram-se três repetições para cada tratamento nas profundidades de 0-0,15 e 0,15-0,30 m.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, considerando as fitofisionomias e as profundidades. As comparações das médias foram feitas pelo teste Tukey a 5%. Nos dados de atividade microbiana, além dos testes acima, também foi feita regressão não linear. Os testes estatísticos foram realizados no *software* R versão 2.6.2 com os pacotes adicionais *agricolae* e *vegan*. (disponível em <http://www.r-project.org/>)

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização dos solos

Os dados de granulometria das amostras analisadas (tabela 2) revelaram que os solos sob coberturas não-florestais, nas suas diferentes fitofisionomias são essencialmente arenosos, sendo que a segunda fração mais expressiva foi o silte, e por último a argila, com valores entre 10 e 90 g Kg<sup>-1</sup> para os horizontes sob as campinaranas florestadas, a campinarana gramíneo-lenhosa e na formação pioneira. Conseqüentemente apresenta a relação silte/argila muito elevada, bem superior ao valor considerado como diagnóstico para solos bastante intemperizados, como os Latossolos (limite superior igual ou menor a 0,7 (EMBRAPA, 2006).

Esses solos são classificados como Neossolos Quartzarênicos e Espodossolos (EMBRAPA, 2006). Apesar do baixo teor de argila (inferior a 15%), o solo sob campinarana arbóreo-arbustiva com horizonte espódico (CAA), apresentaram significativo aumento de argila em profundidade, embora não se caracterize um horizonte B textural.

Os solos sob floresta ombrófila densa (FOD2 e FOD3) apresentaram valores distintos do padrão encontrado nos demais solos, sendo caracterizado nas classes texturais entre franco-argilosa e muito argilosa. No local de coleta FOD2, o solo foi caracterizado como Latossolo Vermelho e apresentou maiores teores de argila, seguidos pelos de areia e por último os de silte. No último perfil analisado (FOD3), o solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, e a composição granulométrica verificou que nos horizontes BA e Bw1 os maiores valores foram da fração argila, seguido pela areia e em último o silte. Nos demais horizontes, predominaram a areia, seguidos da argila e em último o silte. Esses resultados revelaram baixa relação silte/argila para os solos sob floresta ombrófila, cujos valores foram inferiores a 0,7; mostrando o elevado grau de intemperismo desses solos, de acordo com a definição da classe dos Latossolos conforme EMBRAPA (2006).

Além da dominância de solos arenosos nas locais estudados, estes apresentam características hidromórficas, permanecendo parte do ano alagados, com lençol freático aflorando no período chuvoso (abril a setembro). Essa condição de hidromorfismo, cria um ambiente anaeróbico que influencia de forma direta na dinâmica da MOS e na atividade microbiana.

**Tabela 2 – Composição Granulométrica dos perfis de solo descritos e coletados nas áreas do PARNA Viruá**

Horizonte	Profundidade (cm)	Composição granulométrica (g Kg <sup>-1</sup> )			Silte/argila
		Areia	Silte	Argila	
<b>CF1 – Neossolo Quartarênico sob Campinarana Florestada</b>					
A	0 - 10	770	170	60	2,83
C1	10 - 20	720	210	70	3,00
C2	20 - 85	710	210	80	2,63
C3	85 - 180	700	220	80	2,75
<b>CAA – Espodossolo sob Campinarana Arbóreo-arbustiva</b>					
A	0 - 10	720	250	30	8,33
E	10 - 60	840	120	40	3,00
Bh	60 - 80	770	190	40	4,75
B	80 - 100	710	180	110	1,64
C1	100 - 140	670	190	140	1,36
C2	140 - 200	680	160	160	1,00
<b>CF2 – Neossolo Quartzarênico sob Campinarana Florestada</b>					
A	0 - 15	780	180	40	4,50
C1	15 - 85	760	180	60	3,00
C2	85 - 150	670	240	90	2,67
<b>CGL – Neossolo Quartzarênico hidromórfico sob Campinarana Gramíneo-lenhosa</b>					
A	0 - 18	770	220	10	22,00
C1	18 - 84	920	50	30	1,67
C2	84 - 110	860	90	50	1,80
C3	110 - 150+	840	140	20	7,00
<b>FP – Neossolo Quartzarênico hidromórfico sob Formação Pioneira</b>					
A	0 - 17	550	420	30	14,00
C1	17 - 90	710	280	10	28,00
C2	90 - 120+	750	240	10	24,00
<b>FOD2 - Latossolo Vermelho sob Floresta Ombrófila Densa</b>					
A	0 - 18	400	170	430	0,40
AB	18 - 40	310	150	540	0,28
Bw1	40 - 50	250	140	610	0,23
Bw2	50 - 120+	250	120	630	0,19
<b>FOD3 – Latossolo Vermelho Amarelo sob Floresta Ombrófila Densa</b>					
A	0 - 10	430	280	290	0,97
AB	10 - 30	390	290	320	0,91
BA	30 - 60	300	280	420	0,67
Bw1	60 - 120	360	230	410	0,56
Bw2	120 - 200+	450	220	330	0,67

Quanto às condições químicas a tabela 3 revela que são solos com elevado oligotrofismo, onde os principais indicadores de fertilidade como, pH, soma de base (SB), saturação por bases (V), saturação por alumínio (m) e MOS, apresentaram valores muito baixos. Os baixos valores para os cátions trocáveis e a MOS irão interferir de forma negativa na atividade microbiana e conseqüentemente na dinâmica da MOS.

Apesar das quantidades ínfimas de argila dos solos sob campinaranas florestadas (CF1 e CF2), estas apresentaram os valores mais elevados de CTC efetiva (t). Por outro lado estes solos apresentaram altos valores de MOS, portanto esta CTC pode estar diretamente dependente das propriedades reativas da MOS, presentes nestes locais.

Outra consideração sobre estas fitofisionomias está relacionada à baixíssima soma de bases encontrada, mesmo sob uma vegetação arbórea. Portanto, o solo não apresenta riqueza para suprir os nutrientes necessários ao desenvolvimento desta vegetação. Por outro lado, sobre a superfície do solo percebe-se uma espessa camada de serapilheira entremeada com raízes finas da vegetação, destacando que no local apesar da pobreza química, há uma ciclagem muito eficiente dos nutrientes, que podem ser absorvidos mesmo antes de incorporados ao solo. Efeito semelhante foi encontrado por Anderson (1981) em um estudo em campinarana, onde o autor descreve: “A natureza oligotrófica dos solos de areia branca tem um efeito pronunciado sobre a ciclagem de nutrientes. O grande acúmulo da serapilheira, que apresenta uma decomposição lenta, provê um substrato exclusivo para o desenvolvimento de uma camada de raízes que praticamente não penetram no solo mineral, podendo ser removida da superfície como um tapete.” (tradução livre).

**Tabela 3** – Propriedades químicas dos perfis amostrados.

Horizonte	pH	pH	P	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	(t)	(T)	V	m	MOS
	H <sub>2</sub> O	KCl	... mg dm <sup>3</sup> ...	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
			.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
<b>CF1 – Neossolo Quartzarênico sob Campinarana Florestada</b>														
A 0-10	4,63	3,15	3,7	21	0,00	0,01	2,02	10,7	0,06	2,08	10,76	0,6	97,1	43
C1 10-20	5,04	3,74	2,5	9	0,00	0,00	2,31	12,1	0,02	2,33	12,12	0,2	99,1	40,4
C2 20-85	5,32	4,22	1,9	2	0,00	0,00	1,16	8,4	0,01	1,17	8,41	0,1	99,1	32,6
C3 85-180	5,41	4,55	0,8	1	0,00	0,00	0,00	1,4	0,00	0,00	1,40	0,0	0,0	3,9
<b>CAA – Espodossolo sob Campinarana Arbóreo-arbustiva</b>														
A 0-10	4,40	3,02	1,8	16	0,00	0,01	1,25	8,3	0,05	1,30	8,35	0,6	96,2	40,4
E 10-60	5,19	3,95	0,8	1	0,00	0,00	0,00	0,5	0,00	0,00	0,50	0,0	0,0	3,9
Bh 60-80	4,52	3,94	3,2	2	0,00	0,00	1,45	8,1	0,01	1,46	8,11	0,1	99,3	14,3
B 80-100	4,93	4,24	0,9	1	0,00	0,00	0,77	8,4	0,00	0,77	8,40	0,0	100,0	22,2
C1 100-140	4,78	4,25	0,5	1	0,00	0,00	0,48	1,4	0,00	0,48	1,40	0,0	100,0	2,6
C2 140-200	4,98	4,26	0,3	1	0,00	0,00	0,39	1,3	0,00	0,39	1,30	0,0	100,0	1,3
<b>CF2 – Neossolo Quartzarênico sob Campinarana Florestada</b>														
A 0-15	4,18	3,07	3,0	5	0,00	0,00	2,41	11,4	0,01	2,42	11,41	0,1	99,6	31,3
C1 15-85	4,94	4,26	1,4	3	0,00	0,00	0,67	6,0	0,01	0,68	6,01	0,2	98,5	18,3
C2 85-150+	5,02	4,45	1,9	0	0,00	0,00	0,19	1,6	0,00	0,19	1,60	0,0	100,0	5,2
<b>CGL – Neossolo Quartzarênico sob Campinarana Gramíneo-lenhosa</b>														
A 0-18	5,00	3,86	0,8	1	0,00	0,00	0,10	0,8	0,00	0,10	0,80	0,0	100,0	5,2
C1 18-84	5,25	4,52	0,6	1	0,00	0,00	0,00	0,5	0,00	0,00	0,50	0,0	0,0	1,3
C2 84-110	5,38	4,37	0,6	1	0,00	0,00	0,19	0,5	0,00	0,19	0,50	0,0	100,0	1,3
C3 110-150+	5,21	4,45	0,5	0	0,00	0,00	0,10	0,5	0,00	0,10	0,50	0,0	100,0	1,3
<b>FP – Neossolo Quartzarênico hidromórfico sob Formação Pioneira</b>														
A 0-17	4,68	3,51	1,2	8	0,00	0,00	0,29	3,3	0,02	0,31	3,32	0,6	93,5	22,2
C1 17-90	5,61	4,55	0,9	2	0,00	0,00	0,00	0,5	0,01	0,01	0,51	2,0	0,0	1,3
C2 90-120+	5,72	4,60	4,6	0	0,00	0,00	0,00	0,3	0,00	0,00	0,30	0,0	0,0	1,3
<b>FOD2 - Latossolo Vermelho sob Floresta Ombrófila Densa</b>														
A 0-18	4,21	3,83	2,0	38	0,05	0,15	1,16	7,2	0,30	1,46	7,50	4,0	79,5	45,6
AB 18-40	4,68	4,07	1,1	9	0,00	0,00	0,87	4,5	0,02	0,89	4,52	0,4	97,8	22,2
Bw1 40-50	5,48	4,34	0,7	2	0,00	0,00	0,19	3,2	0,01	0,20	3,21	0,3	95,0	17
Bw2 50-120+	6,49	4,82	0,6	0	0,00	0,00	0,00	1,7	0,00	0,00	1,70	0,0	0,0	6,5
<b>FOD3 – Latossolo Vermelho Amarelo sob Floresta Ombrófila Densa</b>														
A 0-10	4,14	3,80	2,9	18	0,00	0,00	1,64	8,9	0,05	1,69	8,95	0,6	97,0	40,4
AB 10-30	4,61	4,04	1,7	8	0,00	0,00	0,96	4,5	0,02	0,98	4,52	0,4	98,0	18,3
BA 30-60	4,57	4,07	0,7	2	0,00	0,00	0,87	2,7	0,01	0,88	2,71	0,4	98,9	9,1
Bw1 60-120	4,68	4,14	0,7	1	0,00	0,00	0,58	2,1	0,00	0,58	2,10	0,0	100,0	6,5
Bw2 120-200+	4,99	4,21	3,0	1	0,00	0,00	0,58	1,4	0,00	0,58	1,40	0,0	100,0	2,6

(SB) Soma de bases trocáveis; (V) Saturação de bases; (m) Saturação por alumínio; (P) Fósforo disponível; CTC efetiva (t): Capacidade de troca catiônica efetiva; (T) CTC total a pH 7,0

## 4.2 Carbono Orgânico Total

Nas amostras superficiais, isto é, na profundidade de 0 a 0,15 m, houve diferença significativa pelo teste F entre os valores de COT encontrados nos diferentes locais. O teste de Tukey a 5% revelou que nestas amostras não houve diferença significativa entre as médias de carbono no solo sob as vegetações CGL e FP; entre CAA, FOD2 e FOD3; entre FOD3 e FOD1, entre FOD1 e CF1 e entre CF1 e CF2 (tabela 4). Houve, portanto, a formação de um gradiente nas concentrações de carbono do solo das vegetações mais abertas até as arbóreas. As vegetações com os menores valores de COT do solo foram a campinarana gramíneo-lenhosa (CGL) e a formação pioneira (FP), os maiores valores foram observados nos solos das campinaranas florestadas (CF1 e CF2).

**Tabela 4** - Carbono Orgânico Total ( $\text{dag Kg}^{-1}$ ) do solo sob diferentes vegetações em 8 locais do PARNA Viruá, em duas profundidades

Local	Profundidade					
	0 - 0,15 m			0,15 - 0,30 m		
CGL	0,14	$\pm 0,058$	a	0,13	$\pm 0,053$	a
FP	0,48	$\pm 0,462$	a	0,66	$\pm 0,157$	b
CAA	1,40	$\pm 0,447$	b	0,39	$\pm 0,212$	ab
FOD2	1,47	$\pm 0,525$	b	1,70	$\pm 0,175$	cd
FOD3	1,89	$\pm 0,544$	bc	1,31	$\pm 0,650$	c
FOD1	2,40	$\pm 0,599$	cd	1,95	$\pm 0,599$	d
CF1	2,95	$\pm 1,181$	de	2,53	$\pm 0,939$	e
CF2	3,44	$\pm 1,164$	e	1,97	$\pm 0,394$	d

Valores sucedidos de mesma letra, na vertical, não diferem significativamente segundo teste de Tukey ( $\alpha=0,05$ )

Também houve diferença significativa pelo teste F nas amostras subsuperficiais, 0,15 a 0,30 m de profundidade, havendo um comportamento semelhante ao observado nas amostras superficiais, também havendo um gradiente na medida de carbono no solo das vegetações abertas para valores de carbono maiores em vegetações arbóreas. O teste de Tukey a 5% revelou que naquelas amostras não houve diferença significativa entre as médias do carbono sob as vegetações CGL e CAA; entre CAA e FP; entre FOD3 e FOD2; e entre FOD2, FOD1 e CF2; contudo havendo diferença entre estes grupos. O valor mais baixo de COT foi encontrado para o solo da área de campinarana gramíneo-lenhosa (CGL) e para a área de



campinarana arbóreo-arbustiva (CAA). O valor mais alto foi encontrado para a campinarana florestada do local CF1 (tabela 4).

Os valores encontrados para o solo sob campinarana florestada (local CF1 e CF2) estão muito acima da média dos solos na região amazônica, pois, segundo Bayer e Mielniczuk (2008) as condições de elevadas temperaturas e precipitação favorecem elevadas taxas de decomposição da MOS em regiões tropicais, embora possa haver um equilíbrio devido a maior produção de biomassa. No entanto, os baixos valores para a maioria dos solos arenosos podem estar estreitamente relacionados com a baixa produção de biomassa de cobertura vegetal e o caráter essencialmente arenoso favorecendo a decomposição mais rápida (Zech et al., 1997).

Estes resultados estão estreitamente relacionados com a condição física e química dos solos estudados, e semelhantes a resultados obtidos por outros trabalhos realizados na Amazônia (BRASIL, 1975; MORAES et al., 1995; VANLAUWE et al., 1999; BERNOUX et al., 2001).

Num estudo já realizado em campinaranas florestadas (três áreas estudadas) em apenas uma os valores foram semelhantes a estes, as outras duas apresentaram valores quase o dobro do encontrado na camada superficial do solo (MAFRA et al., 2007). Os valores para floresta ombrófila densa foram semelhantes aos encontrados por Luizão et al. (2004).

Comparando os grupos formados pelo teste de Tukey para as amostras superficiais com aqueles formados para as amostras subsuperficiais, verifica-se que houve uma modificação sutil na ordem das vegetações no gradiente. Já uma comparação no carbono do solo entre as profundidades amostradas, dentro de cada local de amostragem não verificou diferenças significativas pelo teste F.

Sob condições semelhantes, espera-se que as vegetações mais densas apresentem maior quantidade de carbono no solo. Isto pode ser verificado nas vegetações abertas como na campinarana gramíneo-lenhosa e nas campinaranas arbóreo-arbustivas, onde estas apresentaram quantidades de COT do solo consideravelmente menores que nas florestas ombrófilas. Contudo, as áreas de campinarana florestada apresentaram teores de carbono mais elevadas que as florestas ombrófilas densas, apesar destas últimas terem muito maior biomassa, e provavelmente um aporte de serapilheira maior, estando relacionada com a maior pobreza química do solo e às características hidromórficas (VALE JÚNIOR, 2000).

Em floresta ombrófila densa na Amazônia foram encontrados valores de deposição de serapilheira entre 6,1 e 9,7 t/ha/ano. Enquanto que em vegetações crescendo sobre Espodosolos a deposição foi entre 3,9 e 7,8 t/ha/ano (SCHEER, 2006), portanto como o

aporte nas campinaranas florestadas é menor que nas florestas, outro fator estará influenciando no valor final de COT. Uma explicação é a decomposição mais lenta do material depositado nas campinaranas florestadas, permanecendo maior tempo, tanto sobre, quanto no solo. Isto pode ser verificado pela grande diferença que há entre as frações das substâncias húmicas entre as campinaranas florestadas e o solo das outras fitofisionomias, como será visto no item 4.6.

### 4.3 Nitrogênio Total

Houve diferença significativa pelo teste F entre as amostras coletadas sob as diferentes vegetações, tanto das amostras superficiais (0 a 0,15 m) quanto nas subsuperficiais (0,15 a 0,30 m).

O teste Tukey a 5% para as amostras na profundidade de 0 a 0,15 m (tabela 5) revelou que não houve diferença significativa entre o nitrogênio do solo das vegetações FP e CAA; entre FOD2, CF1 e CF2 e entre CF1, CF2, FOD1 e FOD3. Havendo diferentemente da análise do teste Tukey para carbono um maior agrupamento dos maiores valores de nitrogênio encontrados. Apesar de menos repartido, ainda há um gradiente nas medidas de nitrogênio das vegetações mais abertas para as arbóreas. O valor de nitrogênio para CGL (campinarana gramíneo-lenhosa) foi o menor encontrado.

**Tabela 5** - Nitrogênio Total ( $\text{g Kg}^{-1}$ ) do solo sob diferentes vegetações em 8 locais do PARNA Viruá, em duas profundidades

Local	Profundidade					
	0 – 0,15 m			0,15 – 0,30 m		
CGL	0,07	$\pm 0,013$	a	0,11	$\pm 0,051$	a
FP	0,17	$\pm 0,115$	b	0,23	$\pm 0,043$	b
CAA	0,17	$\pm 0,086$	b	0,09	$\pm 0,064$	a
FOD2	0,34	$\pm 0,005$	c	0,38	$\pm 0,070$	d
CF1	0,39	$\pm 0,031$	cd	0,30	$\pm 0,025$	c
CF2	0,39	$\pm 0,031$	d	0,29	$\pm 0,061$	c
FOD1	0,42	$\pm 0,063$	d	0,36	$\pm 0,034$	d
FOD3	0,43	$\pm 0,024$	d	0,33	$\pm 0,084$	cd

Valores sucedidos de mesma letra, na vertical, não diferem significativamente segundo teste de Tukey ( $\alpha=0,05$ )

Para as amostras subsuperficiais o mesmo teste indicou que não houve diferença significativa entre as vegetações CAA e CGL; entre CF2, CF1 e FOD3; e entre FOD3, FOD1

e FOD2 (tabela 5). O nitrogênio medido para FP (formação pioneira) diferiu significativamente das demais amostras.

Luizão et al. (2004), trabalhando com solos sob floresta ombrófila, e Mafra et al. (2007), trabalhando em campinaranas florestadas sobre Espodosolos, encontraram valores mais elevados de nitrogênio que os encontrados neste estudo. Moraes et al. (1995) encontraram valores para nitrogênio total do solo em Neossolo Quartzarênicos menores do que em Espodosolos, sendo que os Latossolos apresentaram valores intermediários. No presente estudo, os valores mais altos foram para os Latossolos sob floresta ombrófila densa. Apesar dos valores de nitrogênio encontrados serem muito baixos, outros autores encontraram valores semelhantes, especialmente em Neossolos Quartzarênicos (VANLAUWE et al., 1999; VALE JÚNIOR, 2000).

Analisando os valores nas profundidades amostradas, o teste F não verificou diferença significativa em função da cobertura vegetal.

Em ambas as profundidades o padrão foi semelhante, com os valores de nitrogênio de solo das vegetações abertas sensivelmente mais baixos que aqueles sob vegetações arbóreas. Isto se deve ao fato da maior biomassa existente nas vegetações possibilitar um maior aporte de material rico em compostos nitrogenados ao solo através da decomposição, já que o nitrogênio não faz parte da rocha os dos sedimentos minerais do material de origem do solo.

Num estudo do nitrogênio na água do solo em campinarana (SANTOS, RIBEIRO, 1975), verificou-se predomínio de nitrogênio orgânico sobre as outras frações. Contudo naquele estudo concluiu-se que o nitrogênio não era um fator limitante para o desenvolvimento da vegetação natural, atribuindo as leguminosas o ponto de apoio para a manutenção do equilíbrio biológico. Isto também foi verificado num estudo da análise da água de igarapés que drenavam água de campinaranas no estado do Amazonas (RIBEIRO, BRINGEL, SANTOS, 1978). Segundo estes autores, para que exista equilíbrio entre a serapilheira que é constantemente depositada, e o material que permanece sobre o solo, deveria haver uma atividade microbiana muito intensa e que exercesse um papel muito importante, talvez decisivo no fluxo de nutrientes.

#### **4.4 Relação Carbono/Nitrogênio no solo**

Com base nos resultados médios de carbono e nitrogênio por repetição para cada local estudado, determinou-se a relação C/N (tabela 6). O teste F indicou que não houve diferença significativa entre as médias da relação C/N calculada para o solo dos diferentes locais de

coleta. Isto se deveu a grande variabilidade que ocorreu dentro das repetições, como pode ser observado pelo elevado desvio padrão das médias de alguns locais. No local CAA, por exemplo, o caso mais acentuado, a amostra subsuperficial apresentou um desvio padrão de 168,58 para uma média de 123,65, revelando a grande heterogeneidade encontrada naquele local.

Contudo, ainda pode-se perceber um padrão de relações C/N mais baixos em ambientes mais abertos como nas campinaranas gramíneo-lenhosas (CGL) e mais elevados nos ambientes florestais ou florestados, exceção feita à relação C/N do solo da campinarana arbóreo-arbustiva (CAA), que apresentou os valores mais altos apesar de não ser um ambiente florestal.

**Tabela 6 – Relação C:N do solo sob diferentes vegetação em 8 locais do PARNA Viruá, em duas profundidades**

Local	Profundidade	
	0 – 0,15 m	0,15 – 0,30 m
CGL	21,47 ± 9,26	12,57 ± 2,65
FP	26,48 ± 9,55	30,16 ± 11,54
FOD2	42,86 ± 15,12	46,01 ± 11,23
FOD3	44,45 ± 14,70	37,98 ± 9,25
FOD1	56,73 ± 10,59	55,68 ± 21,40
CF1	75,37 ± 26,81	85,89 ± 37,74
CF2	87,34 ± 28,62	67,84 ± 3,43
CAA	107,77 ± 78,08	123,65 ± 168,58

Valores sucedidos de mesma letra, na vertical, não diferem significativamente segundo teste de Tukey ( $\alpha=0,05$ )

Numa comparação com outros trabalhos realizados na região amazônica verifica-se que os maiores valores de relação C/N foram encontrados em Espodossolo (MAFRA et al., 2007; BRASIL, 1975), enquanto que nos demais locais os valores circundavam entre 9 e 17. Apesar dos valores encontrados neste trabalho serem sensivelmente mais elevados, este padrão permaneceu.

Usando o critério de Stevenson e Fitch (1986) – que estabelece que solos com relação C/N menores que 20 são considerados ricos, com baixa imobilização, aqueles com valores maiores que 30 são considerados pobres, proporcionando alta imobilização, enquanto os valores intermediários proporcionam uma imobilização e mineralização igual – verifica-se

que a quase totalidade das amostras enquadraram-se ou pode ser considerada como de alta imobilização. No caso dos elevados valores encontrados, a decomposição deste material irá demorar mais tempo até que a relação C/N baixe o suficiente de modo a reduzir a imobilização do nitrogênio. No decorrer da decomposição do material a relação C/N se estreita, tendendo a valores próximos entre 10/1 e 12/1, que pode ser considerada relação normal da matéria orgânica estável na maioria dos solos (MELLO, 1983).

Portanto, as altas relações C/N permitem inferir que a decomposição da MOS, naqueles locais é desfavorecida. Dentre os fatores que podem estar impedindo a decomposição e sua conseqüente estabilização em valores mais baixos da relação C/N, pode-se citar o oligotrofismo, altos teores de lignina e compostos fenólicos, baixos teores de nitrogênio, condições anaeróbicas durante parte do ano, toxidez por alumínio e a presença de compostos secundários oriundos das próprias plantas para impedir a herbivoria (MOREIRA, SIQUEIRA, 2002; ZECH et al., 1997; JANZEN, 1980).

#### **4.5 Atividade Microbiana**

A análise da atividade microbiana do solo inclui tanto a quantidade de CO<sub>2</sub> gerado ao longo do período analisado, quanto dos valores acumulados nesse mesmo período. Os valores acumulados totais ao final do experimento foram utilizados para realizar testes de comparação de médias (Tukey).

Dos valores acumulados totais ao final do experimento houve diferença significativa pelo teste F entre as amostras coletadas sob as diferentes vegetações, tanto das superficiais (0 a 0,15 m) quanto das subsuperficiais (0,15 a 0,30 m).

Para as amostras superficiais o teste Tukey a 5%, revelou que não houve diferença significativa entre os valores acumulados de respiração sob as vegetações CGL, CAA, CF2 e FP; entre FOD1, FOD3 e FOD2; e entre FOD2 e CF1. Já nas amostras subsuperficiais o mesmo teste a 5%, revelou que não houve diferença significativa entre os valores acumulados de respiração sob as vegetações CF1, FOD2, CAA e FP; entre FOD2, CAA, FP e CGL; entre FP, CGL e FOD1; e entre FOD1 e FOD3. O valor acumulado de uma campinarana florestada (CF2), foi significativamente maior que os demais valores (tabela 7).

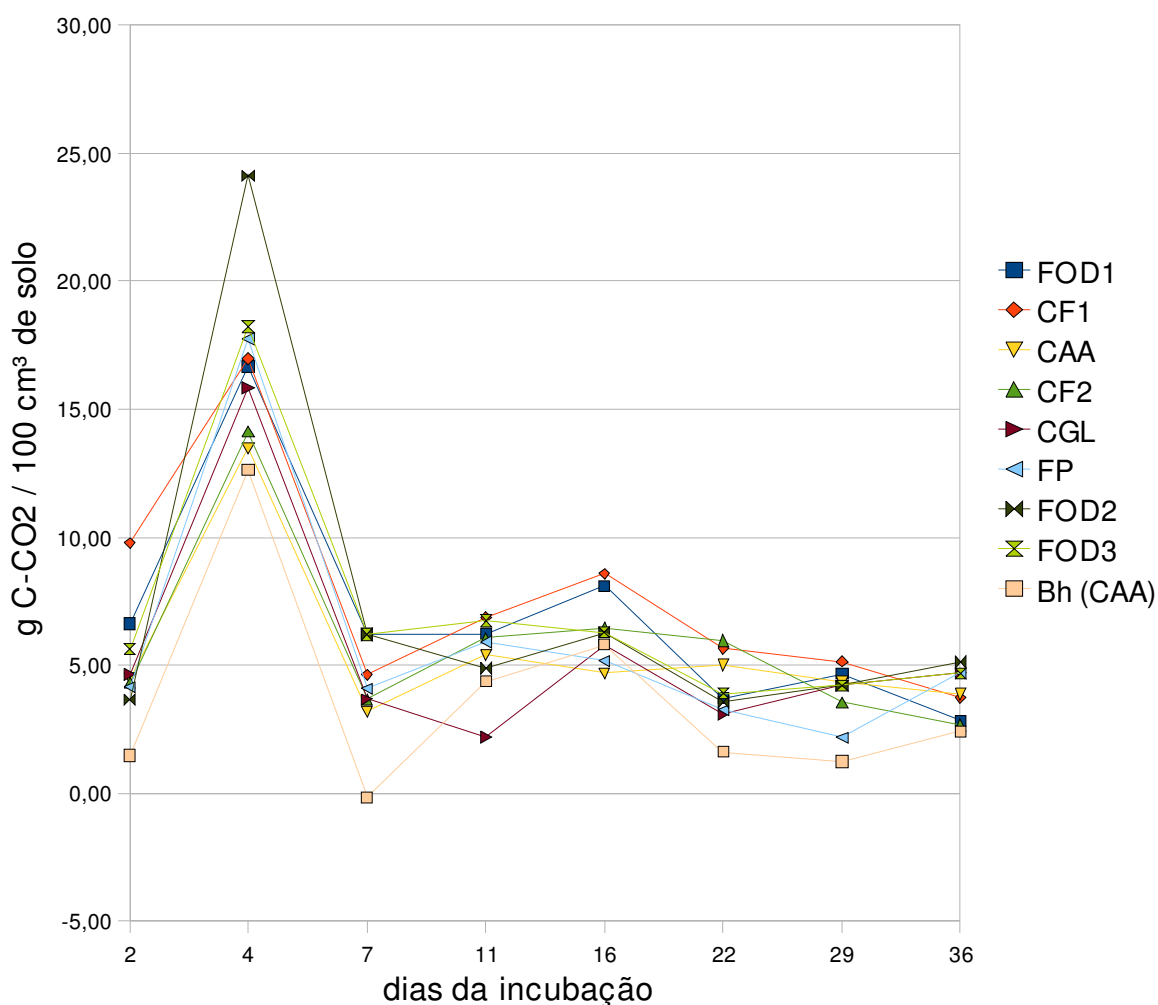
**Tabela 7 – Atividade microbiana acumulada (C-CO<sub>2</sub>.100 cm<sup>-3</sup>) por 36 dias para solo sob diferentes vegetações em 8 locais do PARNA Viruá, em duas profundidades**

Local	Profundidade	
	0 – 0,15 m	0,15 – 0,30 m
CGL	44,01 ± 5,170 a	40,85 ± 8,928 bc
CAA	44,67 ± 10,235 a	37,26 ± 6,813 ab
CF2	47,04 ± 2,093 a	60,17 ± 8,438 e
FP	47,15 ± 5,091 a	40,61 ± 6,098 abc
FOD1	55,23 ± 1,490 b	45,64 ± 6,730 cd
FOD3	55,90 ± 6,228 b	48,75 ± 3,082 d
FOD2	58,10 ± 1,562 bc	36,95 ± 5,229 ab
CF1	61,55 ± 3,015 c	34,98 ± 2,916 a

Valores sucedidos de mesma letra, na vertical, não diferem significativamente segundo teste de Tukey ( $\alpha=0,05$ )

Portanto, comparando o padrão estabelecido nas amostras superficiais em relação com as amostras subsuperficiais, verifica-se que em alguns locais houve uma inversão nos que obtiveram as maiores e menores médias de respiração acumulada. Enquanto que nas amostras superficiais os locais CF1 (campinarana florestada) e FOD2 (floresta ombrófila densa) apresentaram os valores mais altos de respiração acumulada em 36 dias, para estes mesmos locais mas nas amostras subsuperficiais apresentaram os menores valores de respiração acumulada. Já no extremo oposto, o solo sob CF2 (campinarana florestada) apresentou nas amostras superficiais juntamente com CGL, CAA e FP os valores mais baixos, enquanto que solo coletado neste mesmo local mas subsuperficialmente apresentou o mais alto valor de respiração, inclusive maior que o valor superficial, e bem semelhante ao maior valor encontrado nas amostras superficiais.

Os solos que apresentaram os valores de C-CO<sub>2</sub> acumulados mais elevados pelo teste Tukey (tabela 7), foram aqueles que apresentaram ou um pico acentuado no 4º dia após a incubação das amostras, ou uma taxa constantemente elevada de respiração na fase mais estável que sucedeu o pico inicial do gráfico de respiração ao longo do tempo (figura 2). Nas amostras superficiais, o primeiro caso ocorreu para as amostras coletadas em FOD2 (floresta ombrófila densa), o segundo caso ocorreu em CF1 (campinarana florestada), ambas as amostras apresentaram os valores mais elevados de carbono respirado acumulado ao longo dos 36 dias (tabela 7).

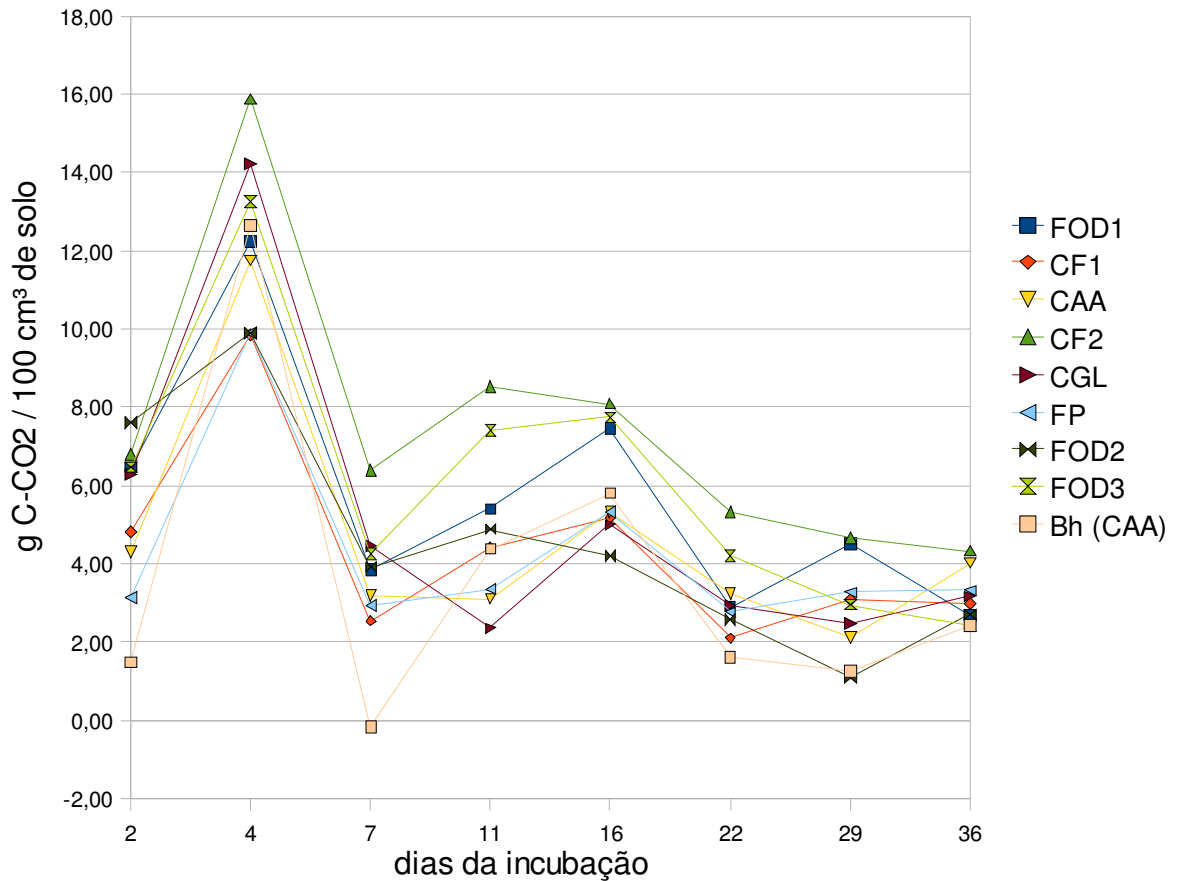


**Figura 2** - Média da respiração diária do solo na profundidade superficial (0 a 0,15 m).

Com o mesmo tipo de análise verifica-se que para as amostras subsuperficiais as amostras de solo coletadas em CF2 (campinarana florestada) apresentaram tanto um elevado pico ao 4º dia após a incubação como manteve uma elevada taxa de respiração durante todo o tempo do experimento. Já as amostras de FOD2 e CF1 que superficialmente apresentaram elevados valores de C-CO<sub>2</sub> acumulado (tabela 7) pelo teste Tukey, subsuperficialmente apresentaram tanto picos inferiores aos solos coletados em outros locais, quanto na fase de estabilização mantiveram taxas mais baixas que a maioria dos demais solos (figura 3).

O valor de C-CO<sub>2</sub> acumulado nos 36 dias do experimento para as amostras superficiais, com exceção das amostras coletadas em CF2, acompanhou a tendência dos valores de COT. Locais com vegetação florestal apresentaram os maiores valores (CF1, FOD2, FOD3 e FOD1), enquanto que as vegetações sem cobertura florestal, os menores valores. Aqueles locais com os maiores valores superficiais apresentaram uma redução na

atividade microbiana em subsuperfície, enquanto que os locais que apresentaram valores mais baixos de respiração apresentaram uma certa uniformidade em profundidade na atividade microbiana (locais CGL, FP e CAA).



**Figura 3** - Média respiração diária do solo na profundidade subsuperficial (0,15 a 0,30 m)

O fato dos locais com vegetação florestal apresentar alta respiração superficialmente e baixa subsuperficialmente pode ser explicado pela possibilidade da ciclagem nestes ambientes ser muito acelerada e eficiente. Qualquer material que fosse depositado na serapilheira seria rapidamente decomposto, não chegando a se acumular. Assim, esperar-se-ia que superficialmente houvesse ainda material que pudesse ser decomposto pela biomassa microbiana e ser evoluído como CO<sub>2</sub> por meio desta. Enquanto que subsuperficialmente não haveria mais substrato para a biomassa microbiana. Desta forma pode-se explicar o fato das amostras CF1 e FOD2 apresentarem elevadas taxas de respiração superficialmente em



detrimento da respiração subsuperficial.

Apesar de tanto as amostras de CF1 e CF2 terem sido coletadas em Neossolo Quartzarênico e sob campinarana florestada, e apresentarem valores químicos e físicos semelhantes, houve uma sensível diferença no padrão de respiração verificado em CF2, que não pôde ser atribuído a estes fatores.

Os picos no início da avaliação, devem-se pelo ataque, por parte da biomassa microbiana, ao material mais lábil como açúcares, aminoácidos e proteínas. A fase seguinte é caracterizada pelo consumo de materiais mais resistentes como ligninas e outros compostos fenólicos e que são de metabolismo mais difícil. Outra importante razão do acentuado pico é atribuído ao intenso consumo por parte da biomassa microbiana da necromassa resultante da morte dos microrganismos durante um período de estiagem natural, e no nosso caso em especial, no período de secagem do solo (ZECH et al., 1997). Outra possibilidade levantada é associada à liberação de nutrientes da argila quando é molhada (EATON, 2001).

No experimento de respirometria além das amostras de solo superficial e subsuperficial, foram feitas leituras durante todo o tempo para amostras retiradas de horizonte B espódico (Bh) do perfil de solo no local CAA. Comparando os valores encontrados tanto superficialmente quanto subsuperficialmente com os valores encontrados para o horizonte B espódico, verifica-se que entre as amostras superficiais e o horizonte B espódico houve uma grande diferença, enquanto que a diferença do horizonte B espódico com os valores subsuperficiais foi menos acentuada. Portanto apesar de haver MOS em abundância naquele horizonte, isto não se revelou numa acentuada atividade microbiana. Isto provavelmente se deve ao fato da MOS no horizonte Bh ser mais estável e menos disponível aos microrganismos do solo (BUURMAN; JONGMANS, 2005; ZECH et al., 1997) e da alta relação C/N encontrada no horizonte (C/N = 82,94).

Houve várias semelhanças nos padrões das curvas acumuladas de C-CO<sub>2</sub> evoluído tanto com os experimentos realizados por Vale Júnior (2000) como com os feitos por Freitas (2005), ambos com solo de Roraima.

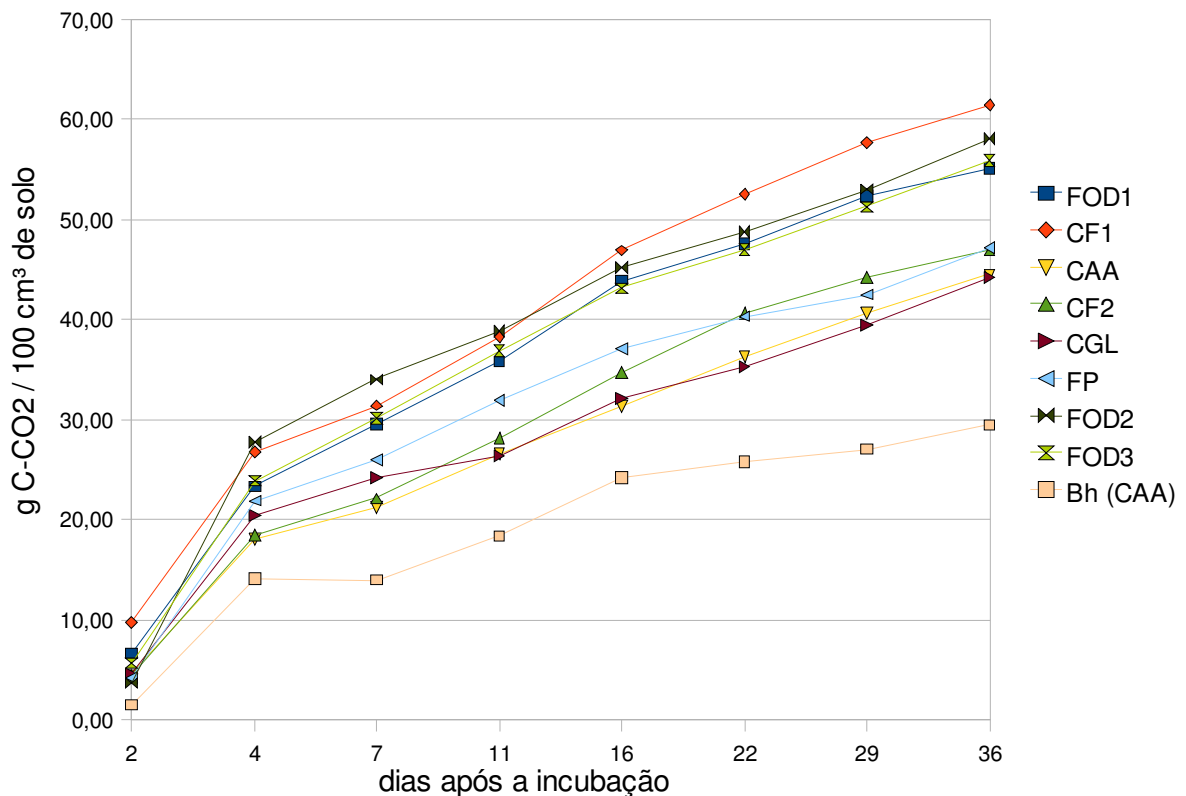
Freitas (2005) encontrou que a maior atividade microbiana estava associada às melhores condições físicas e químicas do solo, enquanto que pobreza química e elevada saturação por alumínio influenciaram negativamente. Também encontrou que os valores de C-CO<sub>2</sub> evoluído estavam correlacionados com os teores de COT. No presente trabalho não houve correlação entre a respiração e a saturação por alumínio ou com a pobreza química, e isto se deveu principalmente por todos os solos apresentarem extremo oligotrofismo e elevada saturação por alumínio, contudo houve correlação com o COT.

A semelhança do encontrado neste trabalho (excetuando-se as amostras coletadas em CF2), Vale Júnior (2000) encontrou maior evolução de CO<sub>2</sub> em superfície, também acompanhados da maior concentração de COT, e por haver nos primeiros centímetros de solo condições térmicas, hídricas e nutricionais favoráveis.

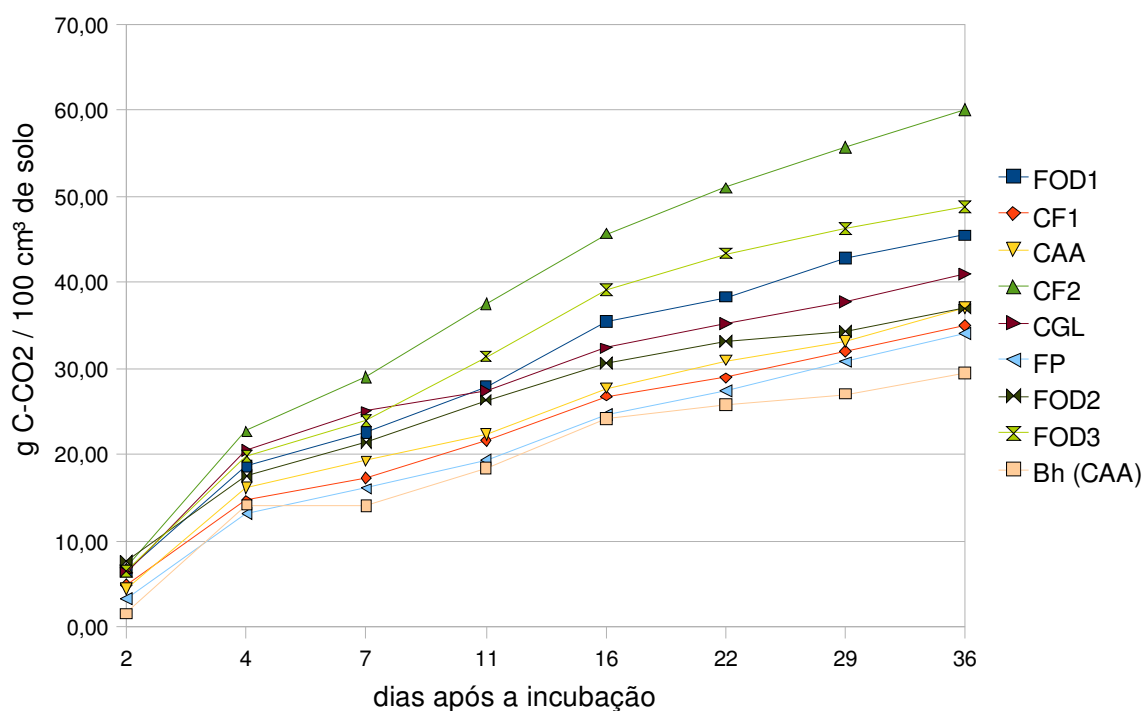
Por fim, com o auxílio estatístico e tomando como base as curvas de C-evoluído acumulado nas profundidades (figura 4 e 5) adequou-se os dados a um modelo matemático para a evolução de CO<sub>2</sub> nos locais amostrados. Em função do número limitado de amostras, a presente modelagem serve apenas para ilustrar o comportamento geral evolução de CO<sub>2</sub> dentro do universo das amostras. Assim sendo o modelo matemático geral para a evolução de CO<sub>2</sub> acumulada foi:

$$\text{Evolução de CO}_2 (f) = y_0 + a / (1 + \exp(- (x - x_0) / b))$$

O comportamento é não linear e os coeficientes estão expressos na tabela 8.



**Figura 4** – Média do CO<sub>2</sub> evoluído acumulado na profundidade superficial (0 a 0,15 m).



**Figura 5** – Média do CO<sub>2</sub> evoluído acumulado na profundidade subsuperficial (0,15 a 0,30 m).

**Tabela 8** – Valores dos coeficientes de ajuste ao modelo para a evolução de C-CO<sub>2</sub> de solo de 8 locais, em duas profundidades

Local	Profundidade (m)	Coeficiente			
		a	b	x0	y0
FOD1	0 – 0,15	1709,70	9,28	-31,63	-1655,04
FOD1	0,15 – 0,30	277,03	10,85	-18,72	-230,64
CF1	0 – 0,15	1969,10	11,84	-41,44	-1906,07
CF1	0,15 – 0,30	851,59	11,28	-36,19	-816,50
CAA	0 – 0,15	1160,75	13,00	-42,17	-1114,82
CAA	0,15 – 0,30	448,77	10,75	-27,14	-412,09
CAA*	0,60 – 0,80	674,75	8,63	-26,74	-646,02
CF2	0 – 0,15	1000,82	11,62	-34,73	-952,33
CF2	0,15 – 0,30	1465,90	10,75	-33,88	-1405,33
CGL	0 – 0,15	2532,42	10,94	-45,75	-2489,62
CGL	0,15 – 0,30	10766,18	7,88	-44,92	-10727,37
FP	0 – 0,15	9554,23	7,35	-39,27	-9510,03
FP	0,15 – 0,30	11656,07	8,19	-46,84	-11617,57
FOD2	0 – 0,15	23924,22	6,45	-38,78	-23870,80
FOD2	0,15 – 0,30	1596,49	8,14	-31,22	-1560,56
FOD3	0 – 0,15	1752,47	8,55	-29,69	-1698,87
FOD3	0,15 – 0,30	912,50	9,95	-28,56	-863,1

Valores obtidos dos coeficientes da evolução de CO<sub>2</sub> acumulada do horizonte B espódico do local com cobertura de campinarana arbóreo-arbustiva (CAA)

## 4.6 Carbono orgânico das frações húmicas

### 4.6.1 Fração ácidos fúlvicos

A análise das amostras superficiais (0 a 0,15 m) pelo teste Tukey a 5% (tabela 9), revelou que não houve diferença significativa entre os valores medidos da fração ácidos fúlvicos (AcFul) das substâncias húmicas nos solos coletados em CGL e FP, sendo que estes apresentaram os valores mais baixos. As amostras superficiais coletadas em CAA, FOD2, FOD1, CF1 e CF2, apresentaram valores intermediários; enquanto que o valor mais elevado foi encontrado em FOD3 (floresta ombrófila densa).

**Tabela 9** - Teor de carbono nas frações ácido fúlvico, ácido húmic e humina, no somatório destas frações, em relação ao solo integral, teor de carbono orgânico total, e relações AcHum/AcFul, EM e C/N dos solos estudados

Local	AcFul	AcHum	HUM	Soma	COT	AcHum / AcFul	EM	C/N
	dag kg <sup>-1</sup> de solo							
<b>Amostra superficial</b>								
CAA	0,247 b	0,012 a	0,581 b	0,8398	1,40	0,05	0,60	107,77
CGL	0,058 a	0,007 a	0,166 a	0,2310	0,14	0,11	1,66	21,47
FP	0,102 a	0,018 a	0,693 b	0,8121	0,48	0,18	1,68	26,48
FOD3	0,450 c	0,237 b	1,478 cd	2,1649	1,89	0,53	1,14	44,45
FOD2	0,304 b	0,201 b	1,317 c	1,8220	1,47	0,66	1,24	42,86
FOD1	0,322 b	0,220 b	1,633 d	2,1757	2,40	0,68	0,91	56,73
CF1	0,296 b	1,178 d	1,555 cd	3,0291	2,95	3,98	1,03	75,37
CF2	0,235 b	1,017 c	2,566 e	3,8183	3,44	4,32	1,11	87,34
<b>Amostra subsuperficial</b>								
CGL	0,063 a	0,003 a	0,109 a	0,1749	0,13	0,05	1,32	12,57
FP	0,078 a	0,008 ab	0,399 a	0,4853	0,66	0,11	0,74	30,16
CAA	0,054 a	0,006 ab	0,031 a	0,0909	0,39	0,11	0,23	123,65
FOD3	0,498 d	0,115 ab	1,063 bc	1,6755	1,31	0,23	1,28	37,98
FOD2	0,220 b	0,106 ab	1,000 b	1,3260	1,70	0,48	0,78	46,01
FOD1	0,225 b	0,141 b	1,097 bc	1,4620	1,95	0,63	0,75	55,68
CF1	0,379 c	0,748 c	0,985 b	2,1121	2,53	1,97	0,83	85,89
CF2	0,264 bc	0,622 c	1,354 c	2,2402	1,97	2,36	1,14	67,84

(AcFul) Ácido Fúlvico; (AcHum) Ácido húmico; (HUM) Humina; Soma = AcFul + AcHum + HUM; Eficiência do método (EM) = (AcFul + AcHum + HUM) / COT. Valores suscedidos de mesma letra, na vertical, não diferem significativamente segundo teste de Tukey ( $\alpha=0,05$ )

Já para as amostras subsuperficiais (0,15 a 0,30 m) o mesmo teste revelou que não houve diferença significativa entre os valores medidos de AcFul dos solos coletados em CAA, CGL e FP, sendo que estes apresentaram os valores mais baixos. As amostras subsuperficiais coletadas em FOD2, FOD1 e CF2 não apresentaram diferença significativa, assim como as amostras de CF2 e CF1 que apresentaram valores intermediários; enquanto que o valor encontrado em FOD3 (floresta ombrófila densa) apresentou o valor mais elevado, a semelhança do que aconteceu com as amostras superficiais.

Os valores mais baixos nas coberturas abertas são explicados principalmente pelo fato de as vegetações menos densas em CGL (campinarana gramíneo-lenhosa) e em FP (formação pioneira) apresentarem menor biomassa com um menor aporte sobre o solo de MOS gerando por conseguinte menor quantidade desta fração.

#### **4.6.2 Fração ácidos húmicos**

Os valores medidos da fração ácidos húmicos (AcHum) no solo superficial, analisados pelo teste Tukey a 5% (tabela 9), revelaram não haver diferença significativa entre aqueles coletados em CGL, CAA e FP, formando o grupo com valores mais baixos de AcHum. No extremo oposto, o valor mais alto foi delimitado para CF1, seguido por CF2. As amostras coletadas em FOD2, FOD3 e FOD1 apresentaram valores intermediários.

Nas amostras subsuperficiais os valores medidos de AcHum, analisados pelo mesmo teste, revelaram não haver diferença significativa entre aquelas coletadas em CGL, CAA, FP, FOD2 e FOD3, formando o grupo com valores mais baixos de AcHum. O valor mais alto, no extremo oposto, foi delimitado para CF1 e CF2. As amostras coletadas em CAA, FP, FOD2, FOD3 e FOD1 apresentaram valores intermediários. Os grupos, portanto, foram semelhantes entre as amostras superficiais e subsuperficiais.

As amostras dos locais que formaram os valores mais baixos têm em comum serem de vegetações mais abertas com predominância de gramíneas e ciperáceas, e serem cobertas pela água nas épocas de cheia. Os valores de AcHum mais altos foram de solo sob vegetações não sujeitas à inundação. As campinaranas florestadas (CF1 e CF2) apresentaram os valores mais elevados, e intermediariamente ficaram as amostras coletadas nas florestas ombrófila densas (FOD2, FOD3 e FOD1). Esta diferenciação é justificada, pela maior ou menor formação de MOS pela cobertura vegetal. Mas também há a forte influência da qualidade do material degradado, como será visto mais adiante (item 4.6.4).

### 4.6.3 Fração humina

Para as amostras superficiais o teste Tukey a 5%, distinguiu que quanto à fração humina (HUM), o local CGL apresentou o valor mais baixo e o local com maior valor de HUM foi CF2 (campinarana florestada). Os demais locais apresentaram valores intermediários, sendo que não houve diferença significativa entre os valores medidos em FP e CAA; entre FOD2, FOD3 e CF1; e entre FOD3, CF1 e FOD1 (tabela 9).

A fração HUM, portanto, apresentou a maior segmentação em grupos distintos pelo teste Tukey, o que é uma informação coerente, visto que esta fração é a mais estável no solo tendo pouca variação ao longo do tempo, mesmo numa escala de tempo relativamente grande. Esta diferenciação possibilita uma comparação entre os ambientes, sem o ruído das pequenas flutuações que outros fatores ligados a MOS sofrem.

**Tabela 10 – Proporções das frações ácido fúlvico, ácido húmico e humina**

Local	AcFul	AcHum	HUM
	%		
<b>Amostra superficial</b>			
CGL	25,29	2,90	71,81
FP	12,53	2,20	85,27
CAA	29,40	1,46	69,14
FOD2	16,68	11,05	72,26
FOD3	20,76	10,95	68,29
FOD1	14,80	10,13	75,07
CF1	9,77	38,88	51,34
CF2	6,17	26,63	67,21
<b>Amostra subsuperficial</b>			
CAA	59,01	6,77	34,22
CGL	36,07	1,70	62,23
FP	16,09	1,72	82,19
FOD2	16,62	7,97	75,41
FOD1	15,37	9,62	75,01
FOD3	29,71	6,85	63,43
CF1	17,94	35,42	46,64
CF2	13,64	32,14	54,23

(AcFul) Ácido Fúlvico; (AcHum) Ácido húmico; (HUM) Humina

No mesmo sentido, o padrão geral com os valores mais baixos de HUM nos locais de vegetação aberta (CGL, FP e CAA), e os valores mais altos para as florestas ombrófilas densas e as campinaranas florestadas são semelhantes aos apresentados pelos testes

estatísticos de COT, indicando que a HUM influencia substancialmente no valor de COT (FONTANA et al. 2006). Este fato também pode ser verificado pela porcentagem de HUM em relação ao total que está em torno de 70% para as amostras superficiais (tabela 10). Dentre as regressões lineares realizadas entre as diferentes frações e o COT, a HUM apresentou a maior correlação com o COT com o valor de  $R^2$  igual a 0,6805 (tabela 11), os pontos estão demonstrados na figura 6 que apresenta também a reta de melhor ajuste da correlação linear para COT e HUM. Para estes dados  $COT = 0,01142 + 1,46280 \times HUM$ .

**Tabela 11 – Significância da correlação linear entre as diferentes frações húmicas e com o COT.**

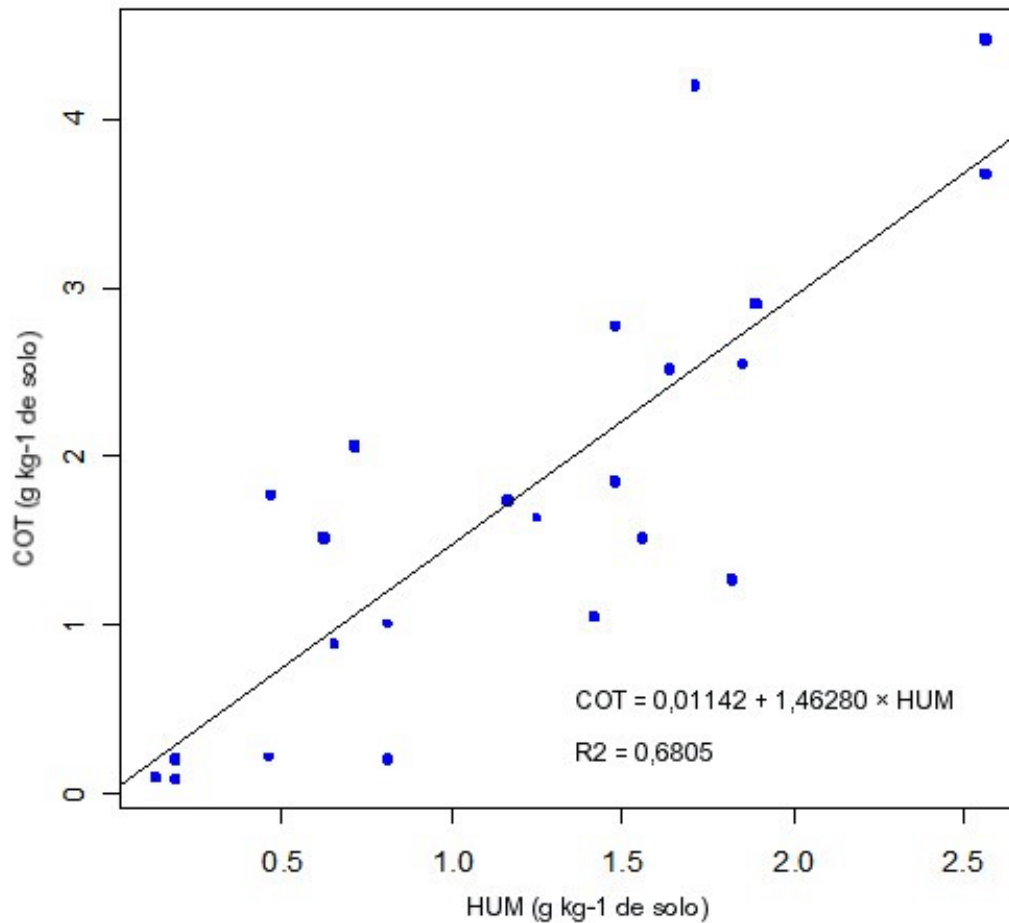
Correlação	$R^2$	
	Amostra superficial	Amostra subsuperficial
COT: AcFul	0,2881	0,2282
COT: AcHum	0,6151	0,4800
COT: HUM	0,6805	0,4459
HUM: AcFul	0,2887	0,3049
HUM: AcHum	0,4835	0,1607
AcFul: AcHum	0,1441	0,1664

(COT) Carbono Orgânico Total; (AcFul) Ácido Fúlvico; (AcHum) Ácido húmico; (HUM) Humina

Já nas amostras subsuperficiais o teste Tukey a 5%, distinguiu que quanto a HUM, os locais CAA, CGL e FP apresentaram os valores mais baixos; os locais com maiores valores de HUM foram CF2 (campinarana florestada), FOD3 e FOD1 (florestas ombrófilas densas). Os demais locais apresentaram valores intermediários, sendo que não houve diferença significativa entre os valores medidos em CF1, FOD2, FOD3 e FOD1.

Em comparação com as amostras superficiais, o teste Tukey possibilitou distinguir apenas três grupos com grande sobreposição de dois destes grupos, isto revelou maior uniformidade na fração HUM em maior profundidade.

A fração HUM subsuperficialmente, a semelhança do que ocorreu superficialmente, foi a principal fração a contribuir no valor de COT (FONTANA et al. 2006), com a média de 61,67% de carbono na fração HUM, valor menor que o encontrado para as amostras de 0 a 0,15 m mas ainda bem maiores que das outras frações; 25,56 e 12,77%, para AcFul e AcHum, respectivamente (tabela 10). A regressão linear entre COT e HUM apresentou a segunda maior correlação, sendo no entanto bem inferior as encontradas superficialmente, com valor de  $R^2$  igual a 0,4459 (Tabela 11).



**Figura 6** – Correlação linear entre os valores de COT (Carbono Orgânico Total) e HUM (fração húmica) das amostras superficiais.

#### 4.6.4 Relação ácido húmicos / ácidos fúlvicos

As amostras de solo superficial e subsuperficial apresentaram tanto valores de relação AcHum/AcFul muito baixos quanto valores altos (tabela 9), sem apresentar valores próximos a unidade, não permitindo, portanto, o estabelecimento de propriedades físicas e químicas do solo mais favoráveis ao desenvolvimento de plantas conforme modelo proposto (CANELLAS, 1999 apud FONTANA et al. 2001).



Os locais CGL, FP e CAA, campinarana gramíneo-lenhosa, formação pioneira e campinarana arbóreo-arbustiva, respectivamente, apresentaram os valores mais baixos. Neste caso o fato destes locais apresentarem menor biomassa não justifica estes valores baixos uma vez que se trata de relação. As áreas de floresta ombrófila densa apresentaram valores em torno de 0,62 (média dos locais) no solo superficial e em torno de 0,45 (média) na profundidade de 0,15 a 0,30 m, também apresentando valores baixos (tabela 9).

Nas formações abertas (CGL, FP e CAA) houve uma proporção maior de ácidos fúlvicos se comparados as florestas ombrófilas e principalmente se comparados às campinaranas florestadas (tabela 10). Isto se deveu em primeiro lugar ao fato de o material do estrato gramíneo ser formado de ciperáceas e poáceas de mais fácil decomposição (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). Aliado a isto, o fato de que naqueles ambientes havia condições que propiciaram uma intensa oxidação da MOS, favorecendo o surgimento de AcFul em detrimento dos AcHum (RODRIGUES et al., 1995; ZECH, et al. 1997; SILVA; RESCK, 1997; CAMARGO; SANTOS; GUERRA, 1999; MOREIRA; SIQUEIRA, 2002; GUERRA et al., 2008; BAYER; MIELNICZUK, 2008) Dentre estas condições ambientais cito alta aeração do solo e a alta temperatura.

Ressalto que as amostras foram coletadas no período seco; no pico das chuvas, grandes partes das áreas com formações abertas estaria alagada, e como os AcFul são solúveis em meio ácido, haveria muita perda desta fração sendo levado para fora do sistema pelo escoamento dos rios (SILVA; RESCK, 1997). São as substâncias húmicas os principais responsáveis pela cor escura das águas drenadas de áreas sobre campinaranas na bacia do rio Negro (JANZEN, 1980; MAFRA et al., 2007).

Verifica-se que a relação AcHum/AcFul é menor nas áreas de campinarana (CGL e CAA) e formação pioneira (FP) que nas áreas de floresta (FOD1, FOD2 e FOD3). Isto pode ser atribuído ao fato de que nas florestas pela maior diversidade vegetal, haja uma maior diversidade do material depositado sobre o solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). Haverá, portanto, uma maior estabilidade e equidade entre as frações húmicas. Isto é corroborado pelo fato de nestes solos as frações HUM, AcFul e AcHum apresentaram valores intermediários em relação aos solos das demais fitofisionomias. Fato semelhante foi encontrado por Vale Júnior (2000) para solos da Serra de Pacaraima, sendo que inclusive os valores encontrados para a relação AcHum/AcFul foram semelhantes.

Todos estes locais apresentaram um predomínio de fração humina seguida pela fração ácido fúlvico e em último o ácido húmico, este mesmo tipo de gradiente foi o encontrado por Vale Júnior (2000) no seu estudo na Serra de Pacaraima. As amostras de solo coletadas nas

campinaranas florestadas (CF1 e CF2) apresentaram acentuada diferença em relação às outras amostras quanto a relação AcHum/AcFul. No caso do solo destes locais os valores foram muito elevados: 3,98 e 4,32, respectivamente para CF1 e CF2, superficialmente (tabela 9). Nestes locais houve um predomínio de ácidos húmicos em relação aos ácidos fúlvicos, indicando a presença de um material orgânico mais estável (VALE JÚNIOR, 2000; FONTANA et al., 2001; FONTANA et al. 2006).

Nestas campinaranas florestadas foram encontrados valores de AcHum bem maiores que nos outros locais. Isto ocorreu tanto nos valores quantitativo quanto numa comparação das proporções entre as outras frações. Uma vez que os AcHum estão numa etapa intermediária de decomposição da MOS, possivelmente, a alta quantidade de compostos secundários, ricos em polifenóis, aliado a maior lignificação do material poderia impedir o processo de decomposição ou diminuir a sua velocidade de. Neste caso, formando um predomínio de AcHum em detrimento de AcFul (JANZEN, 1980; MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Aliado a isto, e verificando os percentuais de cada fração entre os diferentes locais de coleta (tabela 10) e os valores absolutos de AcFul (tabela 9), pondera-se que possa ter havido perda da frações ácido fúlvico por este ser mais solúvel. Canellas et al. (2000) identificaram que numa topossequência “a posição influencia a dinâmica da água, que por sua vez determina os teores das frações da matéria orgânica, principalmente das frações ácido fúlvico livre e ácido fulvico, que são transportadas pelo fluxo lateral e vertical da água no relevo.” No caso das campinaranas florestadas não há relevo que justifique a perda de AcFul, contudo, há um forte flutuação do lençol freático que aliado aos solos extremamente arenosos e ao intenso regime pluvial da região possibilitam a remoção do material mais solúvel, isto também foi encontrado por Melo (2002) que em solos do estado de Roraima encontrou valores da relação mais elevados para classes de solo semelhantes; porém os solos ali analisados apresentavam uso distinto dos aqui analisados que estão no interior de um parque nacional e se destinam à conservação.

Isto é verificado inclusive pelo fato de apenas nas campinaranas florestadas o predomínio das frações húmicas ser modificado. Enquanto que em todos os outros locais a ordem foi  $HUM > AcFul > AcHum$ , nas campinaranas florestadas a ordem foi  $HUM > AcHum > AcFul$ . Este fato é ainda mais intenso se considerarmos que estas fitofisionomias terem obtido os valores mais elevados de COT. Portanto a quantidade de substâncias húmicas, principalmente ácido fúlvico carregado para o lençol freático e os cursos d'água é considerável.

Nas campinaranas florestadas, apesar de haver um extremo oligotrofismo, a espessa

camada de serapilheira e a maior concentração na superfície das raízes, influenciaram na ciclagem mais eficiente de nutrientes, permitindo um maior desenvolvimento da MOS, pelos microrganismos, em frações mais evoluídas e estáveis. Assim, possivelmente, um dos maiores fatores determinantes da ocorrência das campinaranas é a existência e permanência da camada de matéria macrogênica, sobre o solo.

Os solos superficiais das campinaranas florestadas apresentaram os maiores valores de AcHum, cerca de 5 vezes maior que os valores das florestas ombrófilas densas e cerca de 90 vezes maior que os valores encontrados para as fitofisionomias abertas (CGL, FP e CAA) (calculado com base nos valores da tabela 9). Isto, além de influenciar diretamente na relação AcHum/AcFul, pode estar contribuindo para a manutenção das áreas desta fitofisionomia por alterar a relação de crescimento entre estruturas foliares e radiculares das plantas ali localizadas.

Num estudo realizado por Façanha et al. (2002) foram encontrados grupamentos de auxina (um fitoregulador) na análise estrutural de AcHum. A presença deste regulador estaria envolvida na ativação da enzima H<sup>+</sup>-ATPase de plasmalema das raízes. Outro estudo encontrou que quantidades condensadas de substâncias húmicas podem promover uma maior ativação das H<sup>+</sup>-ATPases microsossomais, e que os AcHum isolados de amostras de solo apresentaram maior bioativação que AcFul (CANELLAS; FAÇANHA, 2004).

Desta forma a presença acentuada de AcHum nos solos sob campinarana florestada poderia estar agindo como regulador de crescimento vegetal, alterando o equilíbrio entre o crescimento da parte arbórea e das raízes, estimulando o crescimento das raízes.

Poder-se-ia justificar a grande quantidade de raízes superficiais com base na adaptação daquela fitofisionomia a uma alta eficiência na ciclagem de nutrientes, com o intuito de evitar a perda de substâncias tão preciosas ao sistema. Contudo, isto seria apenas uma justificativa parcial, uma vez que em nenhuma das outras classes de campinarana foram encontradas a espessa camada de raízes, tampouco foram encontrados valores tão elevados de AcHum nos solos, tanto em valores absolutos quanto em proporção às outras frações. Assim verifica-se uma estreita relação entre os elevados valores de AcHum e a camada espessa de raízes. Se este for o caso, percebe-se um estreito equilíbrio entre as campinaranas florestadas e as frações húmicas existentes no solo.

## 5 CONCLUSÕES

1. Fitofisionomias abertas, como campinarana gramíneo-lenhosa, campinarana arbóreo-arbustiva e formação pioneira, revelaram valores de COT mais baixos que as formas florestais. As campinaranas florestadas obtiveram valores de COT maiores que as áreas de floresta ombrófila densa.
2. As maiores taxas de mineralização de C-CO<sub>2</sub> estão relacionadas com os ecossistemas florestais.
3. Nas campinaranas florestadas houve um predomínio da fração humina sobre ácidos húmicos e destes sobre ácidos fúlvicos. Nas demais fitofisionomias estudadas houve o predomínio da fração humina sobre ácidos fúlvicos e destes sobre ácidos húmicos.
4. O fluxo de substâncias húmicas dos solos sob campinaranas é responsável pela coloração escura dos rios presentes naquelas áreas.
5. A sustentabilidade dos ecossistemas estudados está diretamente dependente da dinâmica da MOS e qualquer antropização poderia promover uma degradação rápida desses solos.

## REFERÊNCIAS

ANDERSON, A.B. White-Sand Vegetation of Brazilian Amazonia. **Biotropica**, v.13, n.3, p.199-210, 1981.

ANDERSON, A.B.; PRANCE, G.T.; ALBUQUERQUE, B.W.P. Estudos sobre a vegetação das Campinas Amazônicas III. A vegetação lenhosa da Campina da Reserva Biológica INPA-SUFRAMA (Manaus-Caracaraí, Km 62). **Acta Amazônica**, Manaus, v.5, n.3, p.225-246, 1975.

ANDERSON, J.M.; INGRAM, J.S.I. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. Wallingford: CABS International, 1989. 171p.

ANDERSON, J.M.; INGRAM, J.S.I. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. 2.ed. Wallingford: CAB International, 1993. 221p.

ARAÚJO, A.S.F.; MONTEIRO, R.T.R. Microbial biomass and activity in a Brazilian soil amended with untreated and composted textile sludge. **Chemosphere**, v.64, n.6, p.1043-1046, 2006.

BARBOSA, R.I. Distribuição das chuvas em Roraima. In: BARBOSA, R.I.; FERREIRA, E.J.G; CASTELLÓN, E.G., (eds.) **Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima**. Manaus: INPA, 1997. p.325-335.

BARBOSA, R.I.; FEARNSIDE, P.M. **Área e biomassa dos ecossistemas terrestres da Amazônia Legal Brasileira: estimativas para avaliações da emissão de gases do efeito estufa**. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia / Núcleo de Pesquisas de Roraima (INPA/NPRR). 2002. 30p. (Relatório de Pesquisa – Biblioteca do INPA, Manaus).

BARBOSA, R.I.; FERREIRA, C.A.C. Biomassa acima do solo de um ecossistema de "campina" em Roraima, norte da Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, Manaus, v.34, n.4, p.577-586, dez 2004a.

BARBOSA, R.I.; FERREIRA, C.A.C. Densidade Básica da madeira de um ecossistema de campina em Roraima, Amazônia Brasileira. **Acta Amazonica**, Manaus, v.34, n.4, p.587-591, dez 2004b.

BATJES, N.H.; DIJKSHOORN, J.A. Carbon and nitrogen stocks in the soil of the Amazon Region. **Geoderma**, v.89, p.273-286, 1999.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O.(eds.) **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo – Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole. 2008. p.7-18.

BRAGA, M.M.N.; BRAGA, P.I.S. Estudos sobre a vegetação das Campinas Amazônicas – IV: Estudos ecológicos na Campina da Reserva biológica INPA-SUFRAMA. **Acta Amazonica**, Manaus, v.5, n.3, p.247-260, 1975.

BRASIL. Decreto de 29 de abril de 1998. Cria o Parque Nacional do Viruá, no Estado de Roraima, e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/dnn/Anterior%20a%202000/1998/Dnn29-04-98-1.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/dnn/Anterior%20a%202000/1998/Dnn29-04-98-1.htm) Acesso em: 05 set 2008.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia; Ministério do Meio Ambiente; Ministério do desenvolvimento, indústria e comércio exterior; Governo do estado de Roraima. **Zoneamento Ecológico-econômico da região central do estado de Roraima**. Tomo II. 210p. 2002.

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

BERNOUX, M.; GRAÇA, P.M.A.; CERRI, C.C.; FEARNSIDE, P.M.; FEIGL, B.J.; PICCOLO, M.C. Carbon Storage in Biomass and Soils. In: McCLAIN, M.E.; VICTORIA, R.L.; RICHEY, J.E. (eds.) **The Biogeochemistry of the Amazon basin**. New York. 2001. p.165-184.

BUURMAN, P.; JONGMANS, A.G. Podzolisation and soil organic matter dynamics. **Geoderma**, v.125, p.71-83, 2005.

CAMARGO, F.A.O.; SANTOS, G.A.; GUERRA, J.G.M. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 27-39.

CANELLAS, L.P. Avaliação de características físico químicas de ácidos húmicos. Rio de Janeiro, 1999. 164p Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

CANELLAS, L.P.; BERNER, P.G.; SILVA, S.G.; SILVA, M.B.; SANTOS, G.A. Frações da matéria orgânica em seis solos de uma topossequência no estado do Rio de Janeiro. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.35, n.1, p.133-143, jan. 2000.

CANELLAS, L.P.; FAÇANHA, A.R. Chemical nature of soil humified fractions and their bioactivity. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.39, n.3, p.233-240, mar. 2004.

CANELLAS, L.P.; MENDONÇA, E.S.; DOBBS, L.B.; BALDOTTO, M.A.; VELLOSO, A.C.X; SANTOS, G.A.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B. Reações da Matéria Orgânica. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O.(eds.) **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole. 2008. p. 45-63.

CHANG CHIEN, S.W.; WANG, M.C.; HUANG, C.C. Reactions of compost-derived humic substances with lead, copper, cadmium, and zinc. **Chemosphere**, v.64, p.1353-1361, 2006.

CURL, E.A.; RODRIGUEZ-KABANA, R. Microbial interactions. In: WILKINSON, R.E. (ed.). **Research methods in weed science**. Atlanta: Southern Weed Science Society, 1972. p.162-194.

EATON, W. D. Microbial and nutrient activity in soils from three different subtropical forest habitats in Belize, Central America before and during the transition from dry to wet season. **Applied Soil Ecology**, v.16, p.219-227. 2001.

EMBRAPA. **Manual de métodos de Análise de solo**. 2.ed. Rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p. il. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1)

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. - Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

FAÇANHA, A.R.; FAÇANHA, A.L.O.; OLIVARES, F.L.; GURIDI, F.; SANTOS, G.A.; VELLOSO, A.C.X; RUMJANEK, V.M.; BRASIL, F.; SCHRIPSEMA, J.; BRAZ-FILHO, R.; OLIVEIRA, M.A.; CANELLAS, L.P. Bioatividade de ácidos húmicos: efeito sobre o desenvolvimento radicular e sobre a bomba de prótons da membrana plasmática. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.37, n.9, p.1301-1310, set. 2002.

FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; CUNHA, T.J.F.; SALTON, J.C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.41, n.5, p.847-853, maio 2006.

FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; NASCIMENTO, G.B.; ANJOS, L.H.C.; EBELING, A.G. Matéria orgânica em solos de tabuleiros na região norte fluminense-RJ. **Floresta e Ambiente**, v.8, n.1, p.114-119, jan./dez. 2001.

FREITAS, R.M.S. **Atividade Microbiana em solos sob cerrado e plantios de *Acacia mangium* em Roraima**. Boa Vista, 2005. Monografia (Especialização em Recursos Naturais) PRONAT – Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Roraima.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C. Biomassa Microbiana e Ciclagem de Nutrientes. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O.(eds.) **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole. 2008. p.159-170.

GREGORICH, E.G.; ZECH, W. Turnover of carbon through the microbial biomass in soils with different textures. **Soil. Sci. Soc. Am. J.**, v.12, p.28-34, 1990.

GRIBEL, R.; FERREIRA, C.A.C.; SANTOS, J.L.; COELHO, L.S. **Relatório preliminar da vegetação do Parque Nacional do Viruá – RR**. INPA/MCT, 2008. 47p.

GUERRA, J.G.M.; SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CAMARGO, F.A.O. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O.(eds.) **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole. 2008. p.19-26

HAYES, M.H.B.; MacCARTHY, P.; MALCOLM, R.L.; SWIFT, R.S. The search for structure: setting the scene. In: HAYES, M.H.B. (ed.). **Humic substances II: in search of structure**. Chichester: John Wiley, 1989. p.3-33.

HAYES, M.H.B.; SWIFT, R.S. The chemistry of soil organic colloids. In: GREENLAND, D.J.; HAYES, M.H.B., ed. **The chemistry of soil constituents**. Chichester, UK: J. Wiley, 1978, p.179-320.

HORBE, A.M.C.; HORBE, M.A.; SUGUIO, K. Origem dos depósitos de areias brancas no nordeste do Amazonas. **Revista Brasileira de Geociências**. v.33, n.1, p.41-50, 2003.

HORBE, A.M.C.; HORBE, M.A.; SUGUIO, K. Tropical Spodosols in northeastern Amazonas State, Brazil. **Geoderma**. v.119, p.55-68, 2004.

HUGHES, R.F.; KAUFFMAN, J.B.; CUMMINGS, D.L. Dynamics of aboveground and soil carbon and nitrogen stocks and cycling of available nitrogen along a land-use gradient in Rondonia, Brazil. **Ecosystems**, v.5, n.3, p.244-259, 2002.

IGUE, K. **Dinâmica da matéria orgânica e seus efeitos nas propriedades do solo**. Palestra Seminário Adubação Verde, Rio de Janeiro: CNPq, 1983.

JANZEN, D.H. **Ecologia Vegetal nos Trópicos**. São Paulo: EPU, 1980. 79p.

JANSSON, S.L. Tracer studies on nitrogen transformation in soil with special attention to mineralization-immobilization relationships. **Annals of the Royal Agricultural College**, Sweden, v.24, p.101-361, 1958.

KEPLER, S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C.C.; CHONÉ, T.; LUIZÃO, F.; EDUARDO, B.P. Respiração do solo: comparação entre áreas com mata natural, mata recém-queimada e pastagem, na amazônia central. **Geochim. Brasil**. v.4, n.2, p.111-118, 1990.

KLINGE, H.; HERRERA, R. Biomass studies in Amazon caatinga forest in southern Venezuela. 1. Standing crop of composite root mass in selected stands. **Tropical Ecology**, v.19, n.1, p.93-110, 1978.



KLINGE, H. Studies on the ecology of amazon caatinga forest in southern Venezuela. **Acta Cient. Venezuelana**, v.29, n.4, p.258-262, 1978.

LISBÔA, P.L. Estudos sobre a vegetação das Campinas Amazônicas – II. **Acta Amazonica**, Manaus, v.5, n.3, p.211-223, 1975.

LLERAS, E.; KIRKBRIDE JR, J.H. Alguns aspectos da vegetação da serra do Cachimbo. **Acta Amazonica**, Manaus, v.8, n.1, p.51-65, 1978.

LUIZÃO, F.J.; LUIZÃO, R.C.C. Matéria orgânica do solo em Roraima. In: BARBOSA, R.I.; FERREIRA, E.J.G; CASTELLÓN, E.G., (eds.) **Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima**. Manaus: INPA, 1997. p.363-379. il.

LUIZÃO, R.C.C.; LUIZÃO, F.J.; PAIVA, R.Q.; MONTEIRO, T.F.; SOUSA, L.S.; KRUIJT, B. Variation of carbon and nitrogen cycling processes along a topographic gradient in a central Amazonian forest. **Global Change Biology**, v.10, n.5, p.592-600, 2004.

MAFRA, A.L.; SENESI, N.; BRUNETTI, G.; MIKLÓS, A.A.W.; MELFI, A.J. Humic acids from hydromorphic soils of the upper Negro river basin, Amazonas: Chemical and spectroscopic characterisation. **Geoderma**, v.138, p.170-176, 2007.

MELLO, F. de A. F. et al. **Fertilidade do Solo**. 4.ed. São Paulo: Nobel, 1983.

MELO, V.F. **Solos e indicadores de uso agrícola em Roraima: Áreas indígenas maloca do flechal e de colonização do Apiaú**. Viçosa, Minas Gerais, 2002. Tese (Doutorado em Solos e nutrição de plantas), Universidade Federal de Viçosa.

MELO, V.F.; GIANLUPPI, D.; UCHÔA, S.C.P. **Características edafológicas dos solos do estado de Roraima**. Boa Vista: DSI/UFRR, 2004. 46p.: il.

MENDONÇA, E. de S.; MATOS, E. da S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análise**. Viçosa: UFV, 2005. 107p.

MINHONI, M.T.A., EIRA, A.F., BULL, L.T. Biomassa microbiana, liberação de CO<sub>2</sub>, fósforo disponível e pH em solo que recebeu glicose e fosfato de rocha. **R. Bras. Ci. Solo.**, v.20, n.5, p.387-392, 1996.

MORAES, J.L.; CERRI, C.C.; MELILLO, J.M.; KICKLIGHTER, D.; NEILL, C.; SKOLE, D.L.; STEUDER, A. Soil Carbon stocks of the Brazilian Amazon Basin. **Soil Science Society of America Journal**, v.59, p.244-247, 1995.

MOREIRA, F. M. de S. e SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA. 2002.

NELSON, D.W.; SOMMERS, L.E. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: PAGE, A.L. (ed.) **Methods of soil analysis**. Madison: Soil Science Society of American, 1982. p.539-577.

- PARENTE JÚNIOR, W. C. **Caracterização pedológica e relação com a vegetação natural no Parque Nacional do Viruá**. Boa Vista, 2008. 95f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) – Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Roraima. 2008.
- PRANCE, G.T. Estudos sobre a vegetação das Campinas Amazônicas. I. Introdução a uma série de publicações sobre a vegetação das Campinas Amazônicas. **Acta Amazonica**, Manaus, v.5, n.3, p.207-209, 1975.
- REICHARDT, K.; SANTOS, A.; NASCIMENTO FILHO, V.F.; BACCHI, O.O.S. Movimento de água subterrânea em ecossistema Campina Amazônica. **Acta Amazonica**, Manaus, v.5, n.3, p.287-290, 1975.
- RIBEIRO, M.N.G.; BRINGEL, S.R.B.; SANTOS, A. Hidroquímica na Amazônia Central. II. Flutuações no fluxo de saída de nitrogênio e fósforo em dois ecossistemas na Amazônia. **Acta Amazonica**, Manaus, v.8, n.3, p.409-416, 1978.
- RIBEIRO, M.N.G.; SANTOS, A. Observações microclimáticas no ecossistema Campina Amazônica. **Acta Amazonica**, Manaus, v.5, n.2, p.183-189, 1975.
- RODRIGUES, E.F.G.; RODRIGUES, A.D.; MAZUR, N.; BARROS, N.F. Biomassa microbiana de carbono e nitrogênio de solos sob diferentes coberturas vegetais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DE SOLO. **Resumos expandidos**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1995. p.471-473.
- SANTOS, A.; RIBEIRO, M.N.G. Nitrogênio na água do solo do ecossistema Campina Amazônica. **Acta Amazonica**, Manaus, v.5, n.2, p.173-182, 1975.
- SANTOS, A.; RIBEIRO, M.N.G.; RIBEIRO, J.S.; BRINGEL, S.R.B. Hidroquímica na Amazônia Central. III. Química da água de lavagem da floresta no ecossistema Campina Amazônica (Stemflow). **Acta Amazonica**, Manaus, v.11, n.2, p.335-346, 1981.
- SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5.ed. Revista e ampliada. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005.
- SCHEER, M.B. **Ciclagem de nutrientes em um trecho de floresta ombrófila densa aluvial em regeneração, Guaraqueçaba, PR**. Curitiba. 2006. 155f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S. Matéria Orgânica do solo. In: VARGAS, M.A.T.; HUNGRIA, M. (eds.) **Biologia dos solos dos cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1997. p.467-524.
- SIOLI, H. **Estratificação radicular numa caatinga baixa do Alto Rio Negro**. Belém, 1960. 9p. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi (Nova Série Botânica, 10).

SMITH, J.L.; PAUL, E.A. The significance of soil microbial biomass estimations. In: BOLLAG, J.M.; STOTZKY, G., (eds.) **Soil Biochemistry**. New York: Marcel Dekker, 1990. p.357-396.

SONNTAG, C. The role of nonliving organic matter in soils. In: ANDERSON, D.W.; ZEPP, R.G., ed. **The role of nonliving organic matter in the Earth's carbon cycle**. 1993 Berlin: J. Wiley, 1995. p.81-92. Report of the Dalem Workshop.

STEVENSON, F.J. **Humus Chemistry: Genesis, composition and reaction**. New York: J. Wiley, 1982. 380p.

STEVENSON, F. J; FITCH, A. Chemistry of complexation of metal íons with Soil Solution Organics. In: **Interactions of Soil Minerals with Natural Organics and Microbes**. HUANG, P. M; SCHNITZER, M. (eds), Madison, WI: Soil Science Society of America, 1986, pp. 29–58. (Interactions of Soil Minerals with Natural Organics and Microbes, Special Publication 17).

STOTZKY, R.S. Microbial respiration. In: BLACK, C.A. (ed.) **Methods of soil analysis**. Madison: Amer. Soc. Agron. 1965. p.1550-1572.

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.

THENG, B.K.G; TATE, K.R.; SOLLINS, P. Constituents of organic matter in temperate and tropical soils. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G., **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu: University of Hawaii, 1989. p.5-32.

VALE JÚNIOR, J.F. **Pedogênese e Alterações dos Solos sob Manejo Itinerante, em áreas de Rochas Vulcânicas Ácidas e Básicas, no Nordeste de Roraima**. Viçosa, Minas Gerais 2000. Tese (Doutorado em Solos e nutrição de plantas), Universidade Federal de Viçosa.

VALE JÚNIOR, J.F.; SOUSA, M.I.L. Caracterização e distribuição dos solos das savanas de Roraima. In: BARBOSA, R.I.; XAUD, H.A.M.; COSTA E SOUZA, J.M. (eds.). **Savanas de Roraima: Etnoecologia, Biodiversidade e Potenciais Agrossilvipastoris**. Boa Vista: FEMACT, 2005. p.79-91.

VANLAUWE, B.; NWOKE, O.C.; SANGINGA, N.; MERCKX, R. Evaluation of methods for measuring microbial biomass C and N ad relationships between microbial biomass and soil organic matter particle size classes in West-Africa soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.31, p.1071-1082, 1999.

VEGA COREA, E. J. **Avaliação do carbono orgânico do solo sob diferentes condições de manejo**. Viçosa, Minas Gerais 2000. Dissertação (Mestrado em Solos e nutrição de plantas), Universidade Federal de Viçosa.

VELOSO H.P.; GOES-FILHO L., LEITE P.F.; BARROS-SILVA S.D.; FERREIRA H.C.; LOUREIRO R.L.; TEREZO EFM.. **As regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos**. Departamento de Recurso Natural de Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. Folha NA. 20 Boa Vista e parte das Folhas NA -21 Tumuquaque, NB – 20 Roraima e NB – 21, Rio de Janeiro, Levantamento de Recursos Naturais , v.8, 1975, 428p.

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 Sci. Plant Anal.** New York, v.19, p.1467-1476, 1988.

ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIANO, T.M.; MILTNER, A.; SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**. v.79, p.117-161, 1997.



**ANEXO – CARACTERIZAÇÃO FOTOGRÁFICA –  
FITOFISIONOMIAS E SOLOS DO PARQUE NACIONAL DO VIRUÁ**



**Figura 1** – Floresta ombrófila densa, na área do *grid* do PPBio próximo à sede do PARNA Viruá.



**Figura 2** – Perfil de solo aberto no local FOD2 (direita) e local FOD3 (esquerda), sendo respectivamente um Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho-amarelo.



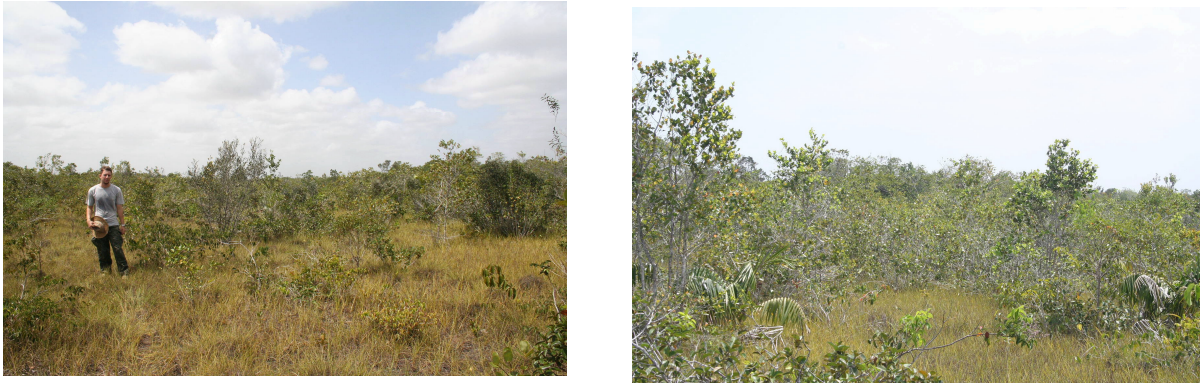


**Figura 3** – Visão geral da campinarana florestada no local CF1 (direita) e CF2 (esquerda), presença de árvores relativamente finas com até 15 metros de altura.



**Figura 4** – Perfil de solo aberto no local CF1 (direita) e CF2 (esquerda). Detalhe de Neossolo quartzarênico com camada superficial rica em MOS coberta por serapilheira.





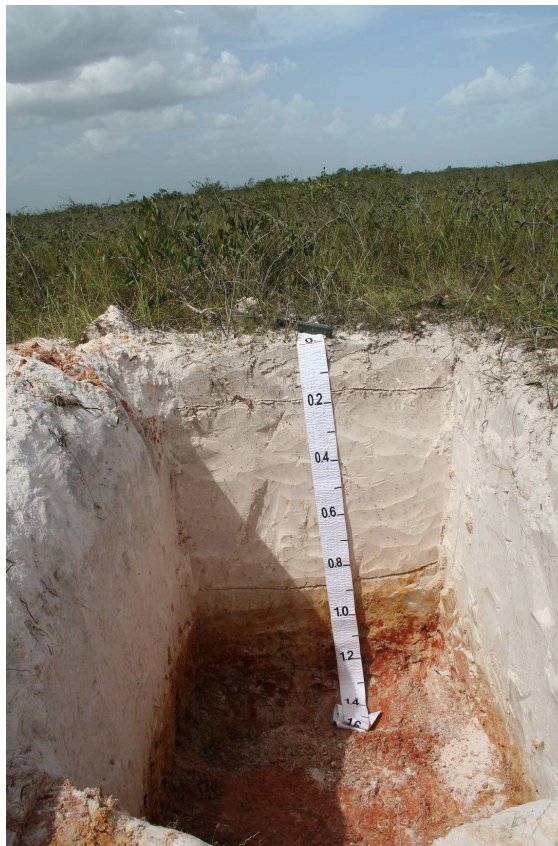
**Figura 5** – Visão geral de campinarana arbóreo-arbustiva no local de coleta CAA.



**Figura 6** – Perfil de Espodossolo no local CAA, mostrando B espódico entre as profundidades de 0,6 e 0,8 m.

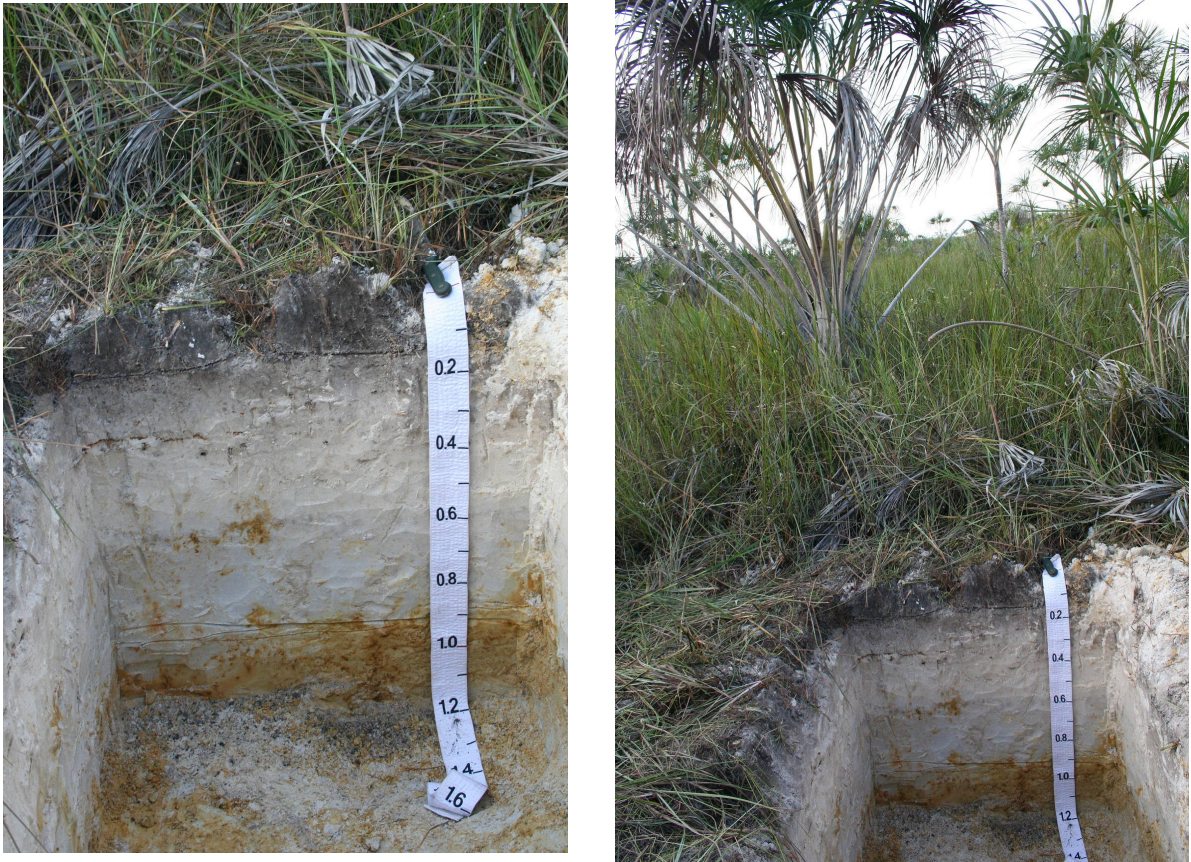


**Figura 7** – Perspectiva de campinarana gramíneo-lenhosa no local de coleta CGL. Serra do Preto ao fundo.



**Figura 8** –Neossolo Quartzarênico hidromórfico no local CGL, presença de abundante mosqueamento abaixo de 0,90 m de profundidade.





**Figura 9** – Neossolo Quartzarênico hidromórfico sob formação pioneira no local FP, predominância de ciperáceas com a presença de buritis. Perfil evidenciando a coloração esbranquiçada e a presença de mosqueamento.