INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA NO TRÓPICO ÚMIDO

CARBONO ORGÂNICO E NUTRIENTES EM SOLOS ANTRÓPICOS E ADJACENTES SOB FLORESTA SECUNDÁRIA NA AMAZÔNIA CENTRAL

ERICK MANUEL OBLITAS MENDOZA

Manaus – Amazonas
Dezembro, 2009

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

ERICK MANUEL OBLITAS MENDOZA

CARBONO ORGÂNICO E NUTRIENTES EM SOLOS ANTRÓPICOS E ADJACENTES SOB FLORESTA SECUNDÁRIA NA AMAZÔNIA CENTRAL

Orientador: Dr. Flávio J. Luizão (INPA)

Co – Orientador: Dr. Wenceslau Geraldes Teixeira (EMBRAPA)

Dissertação apresentada ao Programa Integrado de Pós-Graduação do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias, área de concentração em Agronomia no Tropico Úmido.

Manaus – Amazonas
Dezembro, 2009

Dedico

Ao meu pai, Manuel Oblitas Guerra; aos meus irmãos Gilma, Maritza, Lita, James, Jessica, Glendy. A todos meus sobrinhos, Flavia, Marcia, Aldair, Marlit, Marcos.., a minhas gêmeas Nicole e Sofia. Minha Familia.

Compartilho

Com todas as pessoas que acreditaram em mim e sempre estiveram comigo. Com a família Zumaeta-Caiña, com minha parceira, companheira, amiga, Charlita....

In Memoriam

Dolores Mendoza Gomes e Arturo Sanchez Mendoza
(minha querida mãezinha e meu irmão)

Oblitas, Erick Manuel Mendoza
Carbono orgânico e nutrientes em solos antrópicos e adjacentes sob floresta secundaria na Amazônia Central / Erick Manuel Oblitas Mendoza. Manaus : [s.n.], 2009. 79 f...il.

Dissertação (mestrado)-- INPA/UFAM, Manaus, 2009
Orientador : Flávio J. Luizão
Co-orientador : Wenceslau Geraldes Teixeira
Área de concentração: Ecologia de Ecossistemas Terrestres

1. Terra Preta de Índio. 2. Carbono orgânico. 3. Estoques de carbono. I. Título.

CDD

Sinopse:

Estudou-se a dinâmica do carbono orgânico dissolvido em solos antrópicos e adjacentes, como forma de compreender melhor a influência das propriedades físico – químicas dos solos nos estoques e fluxos de carbono.

Palavras-chave:

Carbono orgânico dissolvido, Terra Preta de Índio, Solos antrópicos, SESS

SUMARIO

AGRADECIMENTOS VII

LISTA DE TABELAS IX

RESUMO XIII

ABSTRACT XIV

1. INTRODUÇÃO 1

2. Objetivos 8

2.1. Objetivo Geral 8

2.2. Objetivos específicos 8

3. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL 9

3.1. Localização e caracterização da área de estudo 9

3.2. BREVE HISTÓRICO DAS ÁREAS: 10

Autaz Mirim (ATM) 10

Encontro das Águas (EA) 11

Rio Preto da Eva (RP) 11

3.3. PROCEDIMENTO AMOSTRAL 14

3.3.1. Amostragem do solo 14

3.3.2. Amostragem da solução do solo 15

3.4. ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS DOS SOLOS 19

3.4.1. Física do solo 19

3.4.1.1. Densidade aparente 19

3.4.1.2. Textura do solo (Granulometría) 20

3.4.2. Análises químicas 21

3.4.2.1. Macronutrientes e Micronutrientes do solo 21

3.4.2.2. Carbono orgânico total e nitrogênio total 22

3.5. ANÁLISE QUÍMICA DA SOLUÇÃO DO SOLO 23

4. RESULTADOS 24
4.1. Características físicas dos três tipos de solos estudados 24
4.2. Características químicas dos solos 27
4.2.1. Fósforo e Cátions trocáveis 27
4.2.2. Micronutrientes 28
4.2.3. Carbono e Nitrogênio 31
4.2.4. Nutrientes na solução do solo 34
4.2.5. Carbono Orgânico Dissolvido em Solo Antrópicos e Solos Adjacentes 40
5. DISCUSSÃO 46
6. CONCLUSÃO 54
7. BIBLIOGRAFIA 55

AGRADECIMENTOS

Agradeço.....

A Deus, por ter me concedido a permissão de vencer mais uma etapa da minha vida.

Ao Dr. Flávio J. Luizão, pela oportunidade, apoio, orientação, amizade, e contribuição na minha formação profissional e pessoal.

Ao Dr. Wenceslau G. Teixeira, pela amizade, orientação e assistência constante em tudo o tempo do desenvolvimento do trabalho.

Ao Dr. Carlos Alberto Quesada, companheiro, pela amizade, orientação, apoio, assistência constante, incentivo aos trabalhos de pesquisa.

Ao Dr. Jorge Gallardo Ordinola, pela oportunidade inicial, pela amizade, apoio incondicional, desde minha chegada no Brasil e no INPA.

Ao Dr. Jomber Chota Inuma, pela amizade, confiança, orientação, apoio incondicional.....

A Dra. Regina Luizão, pelo incentivo e amizade.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), pela oportunidade e apoio na pesquisa.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pela bolsa de estudo.

Ao Projeto LBA pelo apoio constante para a realização deste estudo.

Ao Centro de Projetos e Estudos Ambientais do Amazonas – CEPEAM da Associação Soka Gakkai Internacional, coordenado pelo Dr. Charles Osawa e Dr. Akira Tanaka, pela permissão para o ingresso nas suas instalações e realização dos trabalhos de coletas de amostras.

À Família LBA/INPA, que apoiou esta pesquisa, na logística, Rubenildo Lima, Ruth Araújo, Natan Andrade, Pedro A. Marquez Mendonça (que me apoiou em todas as coletas de campo).

Ao Laboratório Temático de Analises de Solos e Plantas do INPA, especialmente aos amigos e companheiros (as), Tânia Pimentel, Edivaldo, Orlando F. Cruz Júnior, Nonato, Jonas Filho, Raimundo Nonato, Luan, Marcio e Ivanete, por todo o apoio.

Aos colegas amigos de curso e membros da família do antigo Anexo BIONTE, Lucerina Trujillo, Jean Dalmo, Fabiane Oliveira, Sueli e Rejane Magalhães, dona Regina, Marcelo Lima, ao companheiro Rubem Barbosa, Monica, Josias e Deive, pelo convívio do dia a dia no decorrer da realização desta trabalho e dissertação.

Aos amigos compatriotas, colegas: Gilson Sanchez, Rocio Jarama, Omar Cubas, Carlos Da Costa, Tony Vizcarra, Daniel Villacis, Elvis, Ruby Vargas e Santiago Ferreira, pela amizade e ajuda no decorrer da minha estadia no Brasil.

Aos professores da UNAP, Jorge Bardales Manrrique e Ronald Yalta Veja; ao Rodrigo Gonzales Veja, do INIA e Salmon Urday, do Agrobanco, pela amizade, apoio, e incentivo ao estudo.

A todos as pessoas que de uma e outra forma contribuíram com a realização deste trabalho, aos amigos de Rio Preto da Eva e Autaz Mirim.

A todos vocês, muito obrigado...

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. *Medidas dos extratores "b" segundo as camadas (CA) dos solos antrópicos (TPI) dos três locais de estudo.* 13
Tabela 2. *Resultados das analises Físicas e químicas dos três tipos de solo (TP, TM, SA) ate uma profundidade de 20 cm nas áreas de estudo ATM, EA e RP.* ... 25
Tabela 3. *Estoques de carbono nos três solos estudados ate a profundidade de 1m nas diferentes áreas.* 34
Tabela 4. *Áreas das curvas de COD, por profundidade, obtidas calculando integrais dos dados de variação sazonal em COD encontrados na Figura 23.* 43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. *Localização das áreas de estudo.* 9
Figura 2. *Delineamento Experimental. Autaz Mirim (ATM), Encontro das Águas (EA), Rio Preto (RP); Terra Preta de Índio (TP1 e TP2), solo adjacente (SA); Sistemas de Extração de solução do solo (1,2,3); Extratores de solução do solo (ESS) com diferentes medições (a,b,c)*..... 12
Figura 3. *Distribuição sistemática dos Sistemas de Extração de Solução do Solo (SESS) dentro das parcelas.* 13
Figura 4. *Perfis modais abertos dos diferentes tipos de solo em estudo: Terra Preta (TP), Terra Mulata (TM) e Solo Adjacente (SA)*..... 14
Figura 5. *Procedimento de amostragem com tradagem aleatória a partir do perfil modal.* 15
Figura 6. *Cápsulas de cerâmica porosa com diâmetros de 60 mm (A) e 23 mm (B) de altura, coladas em um dos extremos dos tubos de PVC.* 16
Figura 7. (*A) Baterias de três unidades de ESS em caixa de isopor, (B) Distribuição dos ESS em diferentes profundidades no solo, (C) Bomba de vácuo para gerar uma diferença de pressão, aplicando-se uma pressão de 0,6 bar no sistema cápsula-solo.* 16
Figura 8. (A) *Sistema de extração de solução do solo (SEE), instalado nas áreas de estudo; (B) Solução do solo coletada através dos SEE.* 17
Figura 9. *(A - D) Procedimento de amostragem da solução solo, (E) Amostras orgânicas conservadas em $HgCl_2$ (300 µM de Hg) em vidros I-CHEM, (F) Amostras conservadas em Thymol em frascos de polietileno HDPE.* 18
Figura 10. *(A) Amostragem nos intervalos verticais dos horizontes do perfil modal. (B) Amostra indeformada com os anéis de Kopecky. (C) Amostras prontas para serem secas em estufa*..... 20
Figura 11. *Procedimento para determinação da textura pelo método da pipeta e tamisação.* 21

Figura 12. *(A) Espectrofotômetro de Absorção Atômica, (B) Espectrofotômetro de Colorimetria, (C) Auto analisador de carbono e nitrogênio.* 22
Figura 13. *(A) Analisador de carbono total SHIMADZU 500A, (B) Cromatógrafo liquido DIONEX 1000.* 23
Figura 14. *Distribuição granulométrica (%) dos diferentes horizontes dos três tipos de solos (TP1, TM, SA); nas diferentes áreas de estudo (ATM, EA, RP).* 26
Figura 15. *Densidade aparente dos diferentes horizontes dos três tipos de solos (TP, TM, SA); nas diferentes áreas de estudo (ATM, EA, RP).* 27
Figura 16. *Concentrações de cátions trocáveis e fósforo atem 1 m de profundidade, dos três tipos de solos (TP1, TM, SA); nas diferentes áreas de estudo (ATM, EA, RP).* 29
Figura 17. *Concentrações de Micronutrientes trocáveis ate 1 m de profundidade, dos três tipos de solos (TP1, TM, SA); nas diferentes áreas de estudo (ATM, EA, RP).* 30
Figura 18. *Concentração de carbono e nitrogênio nos três solos estudados nas diferentes áreas.* 32
Figura 19. *Relação entre concentração de carbono e textura para todas as áreas de estudo.* 33
Figura 20. *Macronutrientes na solução do solo ao longo do estudo. Valores acumulados para as três áreas.* 37
Figura 21. *Formas de nitrogênio na solução do solo ao longo do estudo nos três solos estudados. Valores acumulados.* 38
Figura 22. *Proporções entre nutrientes dissolvidos e concentrações trocáveis nos solos. (A) bases, (B) fósforo.* 39
Figura 23. *Concentrações de carbono orgânico dissolvido (COD) até 1 m de profundidade na solução do solo, nos três tipos de solo, nas áreas estudadas (A) ATM, (B) EA e (C) RP.* 42
Figura 24. *Concentrações de COD em três profundidades (20 cm, CA: extrator "b", e 100 cm) na solução do solo, nas estações seca e chuvosa nos três tipos de solo, nas áreas estudadas (A) ATM, (B) EA e (C) RP.* 44

Figura 25. *Relação entre teores de carbono nos solos e mobilização de carbono orgânico dissolvido para as três áreas de estudo*..... 45
Figura 26. *Analise dos componentes principais para variáveis passiveis de influenciar na mobilização do COD.*..... 45

RESUMO

Na Amazônia, a maioria dos solos é muito intemperizado e apresenta baixa fertilidade química natural. Porém, também ocorrem solos com horizonte A antrópico, de coloração escura, popularmente denominados "Terra Preta de Índio" (TPI), que geralmente apresentam alta fertilidade, com elevados teores de P, Ca, Mg, Mn, Zn e de matéria orgânica estável, elevado pH (5,5 – 6,5), alta capacidade de troca catiônica, baixa acidez potencial (H + Al) e alta saturação por bases, quando comparados aos solos adjacentes. As Terras Pretas de Índio da Amazônia têm níveis elevados de carbono, com concentrações de até 150 g C kg^{-1} de solo, em comparação aos solos circunvizinhos com 20–30 g C kg^{-1} de solo. A capacidade das Terras Pretas de Índio de estocar e reter carbono estável é alta, sendo então importante para a mitigação do efeito estufa e precisa ser mais bem avaliada e entendida. Com o objetivo estimar o carbono orgânico, o teor de nutrientes e a dinâmica do carbono orgânico dissolvido (COD) em perfis de solos antrópicos e solos adjacentes sob floresta secundária na Amazônia Central, o presente estudo procurou identificar os solos que retêm mais carbono orgânico e nutrientes. O delineamento experimental foi o de blocos inteiramente ao acaso com três repetições em cada bloco e avaliações em três locais: Encontro das Águas (EA), Rio Preto (RP) e Autaz Mirim (ATM), e dois tratamentos: Terra Preta de Índio (TPI) e Latossolo Amarelo (LA), num total de nove parcelas de 20 m x 80 m. Em cada parcela foram instalados três sistemas de extração de solução do solo; cada um dos sistemas constou de três extratores a diferentes profundidades até 1 m. Além disso, foram feitas também coletas de amostras de solo até 1 m para realizar análises químicas e físicas. O mais altos valores mobilizados de COD foram encontrados nos solos adjacentes (624; 297 e 662 mg L^{-1} para ATM, EA e RP, respectivamente), sendo intermediários para as Terras Mulatas (511, 371 e 634 mg L^{-1} para ATM, EA e RP, respectivamente) e mais baixos para Terra Preta (464, 189 e 465 mg L^{-1} para ATM, EA e RP, respectivamente). Uma vez conhecendo as relações entre propriedades químicas e físicas dos solos e sua relação com o COD poderemos melhorar o entendimento dos processos de lixiviação nos solos com horizonte A antrópico e dos solos sem estes horizontes.

ABSTRACT

In the Amazon, most of the soil is very weathered and has low natural fertility. However, soils with archeological anthropic A horizons also occur, popularly called "Terra Preta de Indio" (TPI), which usually have high fertility with high levels of P, Ca, Mg, Mn, Zn and stable organic matter, high pH (5.5 - 6.5), high cation exchange capacity, low potential acidity (H + Al) and high base saturation, when compared to adjacent soils. The Terra Preta do Indio of the Amazon have high levels of carbon, with concentrations of up to 150 gC kg-1 soil, compared to the surrounding soils with 20-30 g C kg-1 of soil. The capacity of the Terra Preta do Indio for storage and retention of stable carbon is high, thus it's important to mitigate the greenhouse effect, suggesting that it must be better evaluated and understood. With the objective of estimate the organic carbon and nutrients and the dynamics of dissolved organic carbon (DOC) in soil profiles of anthropogenic and adjacent soils under secondary forest in Central Amazonia, this study sought to identify the soils that retain more carbon and nutrients. The experimental design was entirely randomized blocks with three replications in each block and evaluations at three locations: Encontro das Aguas (Meeting of the Waters), Rio Preto and Autaz Mirim, and three treatments: Terra Preta de Indio (TPI), Terra Mulata and Adjacent soils, a total of nine plots of 20 m x 80 m. In each plot three systems were installed for the extraction of soil solution, each of the systems consisted of three extractors at different depths up to 1 m. In addition, collections were made from samples of soil to 1 m to perform chemical and physical analysis. The highest values of COD were mobilized in the adjacent soils (COD Adjacent soils of 623.5, 297.4 and 662.4 mg L^{-1} for ATM, EA and RP, respectively), and intermediary values for Terra Mulata (COD Terra Mulata of 510.7, 370.7 and 634.0 mg L^{-1} for ATM, EA and RP, respectively) and lowest for Terra Preta (Black Earth of the COD of 463.9, 189.2 and 465.4 mg L^{-1} for ATM, EA and RP, respectively). Once knowing the relationship between chemical and physical properties of soils and their relation to the COD, we will be able to improve our understanding of the processes of leaching in anthropic and native soils.

1. INTRODUÇÃO

A Amazônia se desenvolve em grande parte sobre solos de terra firme considerados de baixa fertilidade natural (Sioli, 1991). Corresponde à maior extensão de floresta tropical contínua do mundo, cobrindo aproximadamente 6,2 milhões de km^2 (Skole & Tucker, 1993). A Amazônia Legal Brasileira representa 5,1 milhões de km^2 sendo importante pela biodiversidade, hidrologia e clima regional, assim como pelo armazenamento de carbono (Phillips *et al.,* 1998; Fearnside, 1999).

Desta Amazônia Legal Brasileira, mais de 551.000 km^2 já haviam sido desmatados até o ano de 2000. Este desmatamento continua aumentando anualmente; no período 2006 – 2007, a Amazônia Legal Brasileira sofreu um desmatamento de 11.220 km^2 (INPE, 2007). A estimativa de novos desmatamentos nos anos recentes representa 7.000 km^2 de área desmatada só em cinco meses e as cifras atuais têm tendência de aumento (INPE, 2007).

O desmatamento vem ocasionando tragicamente uma mudança das paisagens na Amazônia e principalmente na dinâmica básica do carbono representado pela vegetação em pé (Fearnside *et al*., 1993; Grace *et al.,* 1995). Porém após distúrbios naturais ou antrópicos, como por exemplo, o desmatamento desenvolve-se as chamadas florestas secundárias, que já abrangeu mais da metade de todas as florestas do mundo (FAO, 2005). A maior parte destas florestas se concentra nas regiões tropicais, onde sua extensão e importância têm aumentado constantemente, acompanhando o crescimento demográfico, a migração de populações rurais para centros urbanos seguida do abandono de antigas áreas, à medida que as florestas primárias são exploradas, fragmentadas, ou convertidas para usos agrícolas (Brown & Lugo 1990; Gavin 2004; Chazdon & Coe 1999; Smith *et al.* 1999; Whitmore 1997). Atualmente, as florestas secundárias tropicais estão entre os ecossistemas em maior expansão no planeta (Gavin, 2004).

Na Amazônia central, os solos dominantes das áreas de “terra firme” (solos não inundáveis) são os chamados Latossolos e Argissolos, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999), nos quais se desenvolve esta floresta luxuriante. O equilíbrio e alta biomassa da Floresta Amazônica devem-se ao ciclo fechado de nutrientes entre a floresta e o solo, com constante decomposição de material orgânico e pequena perda por lixiviação (Luizão & Schubart, 1987; Brinkmann *et al.,* 1989; Longo & Espíndola, 2000). Portanto, a ciclagem de nutrientes é um fator determinante dos atributos edáficos, químicos e físicos que exerce influência sobre a estabilidade estrutural do solo. A maior parte dos solos na região são de baixa fertilidade natural devido à sua avançada idade geológica (Meirelles, 2004), é de reação ácida, com baixa capacidade de troca catiônica (CTC) e baixa fertilidade natural, com alto teor de argila (> 60%), baixos níveis de nutrientes, pH muito ácido e baixos teores de carbono orgânico no solo (Teixeira & Bastos, 1989).

Os solos de terra firme presentes na Amazônia Legal são constituídos na grande maioria classificados como Latossolos com aproximadamente 2,103.44 km^2 e Argissolos com 1,687.88 km^2 (41,0% e 32,9% da superfície da Amazônia Brasileira, respectivamente, Álvares, *et al.,* 1996), Os Latossolos possuem como componentes granulométricos principais a argila e areia, variando de 15–95 % a fração argila, enquanto que o silte apresenta-se relativamente constante entre 10–20 % (EMBRAPA, 1991), pH entorno de 3,5–6,6; teores de carbono entre 20–30 g C/kg nas camadas superficiais, na grande maioria de latossolos a soma de bases é baixa variando de 0,10 a 3,4 $cmol_c$/kg de solo, com valores mais elevados nas superfícies, a capacidade de troca de cátions (CTC) varia de 2,1–12,4 $cmol_c$/kg de solo (Pereira, 1987). Os Argissolos com características como a classe textural variável, com incremento da fração argila em profundidade, Os teores de areia são mais elevados nos horizontes superficiais, pH entre 3,6–6,1; soma de bases varia entre 0,2 – 29,0 $cmol_c$/kg de solo. Em resumo, O solo é, portanto, um fator limitante para a produtividade e sustentabilidade de sistemas de produção agrícola na Amazônia (EMBRAPA, 1999).

No entanto há na Amazônia solos mais férteis e com maior vocação agrícola com propriedades físicas e químicas totalmente contrarias as dos Latossolos e Argissolos: são os solos de várzea, que normalmente possuem teores elevados de silte

e de areia fina (o silte pode apresentar-se ate 50 % nestes solos) com elevada capacidade de troca de cátions e elevado teores de cátions trocáveis como o cálcio e magnésio, níveis mais elevados de nutrientes e argila de atividade alta (Lima, *et al.,* 2007).

Também na Amazônia ocorrem solos com horizonte A antrópico (Au) de coloração escura, popularmente denominado "Terra Preta de Índio" (TPI), Terra Preta Arqueológica ou simplesmente, Solos Antrópicos (Cunha, 2005), que geralmente apresentam alta fertilidade, com elevados teores de P, Ca, Mg, Mn, Zn e com alto teor de matéria orgânica na forma de carvão que é muito estável (Kern & Kämpf, 1989), o qual pode persistir por milhares de anos no ambiente (Zech *et al.*1990; Glaser *et al.* 2001). Estes solos tem elevado pH (5,5 – 6,5), alta capacidade de troca catiônica, baixa acidez potencial e alta saturação por bases, quando comparados aos solos adjacentes (Sombroek, 1966; Zech *et al.,* 1990; Glaser, 1999). São manchas de solos que ocorrem em muitos pontos dentro da Amazônia, geralmente encontradas próximas a cursos de águas, em locais bem drenados e geralmente de topografia plana (Smith, 1980; Kern *et al.,* 2003). Estima-se que as TPI cubram aproximadamente 0,1–0,3% (6,000 – 18,000 km^2) do total da bacia Amazônica. No entanto, a extensão geográfica total á ainda desconhecida (Erickson, 2003). Os sítios encontrados em terra firme podem ser menores em comparação com os encontrados em terraços, que vão de 0,3 – 0,5 hectares com tamanho médio de 1,4 hectares nas terras firmes, e 400 hectares nos terraços (Smith, 1980; Roosevelt, 1987; Denevan, 2001).

A origem das TPI ainda causa muita controvérsia entre os pesquisadores. Nos anos 40, surgiram numerosas idéias sobre a origem das “Terras Pretas” na Amazônia, como as de Hartt (1985), que defendia a hipótese de origem natural (geogênica), ou a hipótese de formação a partir de cinzas vulcânicas de Felisberto Camargo (1944) também defendido por Hilbert (1968); também surgiu a hipótese defendida por Barbosa de Faria (1944) e Falesi (1972) que defende a origem das TPI como resultante de sedimentos em regiões lacustres. Mas Ranzani *et al.* (1962) descreveram as “Terras Pretas” como um “plaggem epipedon”, ou seja formado a partir da incorporação intencional de material orgânico através de praticas de manejo, conseqüência da ocupação de populações humanas (Kern *et al.,* 2004) defendida por Woods & McCann

(2001), a qual vem sendo corroborada com as pesquisas atuais. Atualmente acredita-se que estas populações teriam sistemas de manejo do solo diferenciado dos tradicionais praticados hoje nos trópicos; cuja diferença marcante esta no produto final da queima, que era controlada o que produzia carvão vegetal ao invés de cinzas (Mann, 2002). Dessa forma a elevada fertilidade das TPI pode ser atribuída à suas propriedades físico-químicas obtidas pela presença de material orgânico com oxidação incompleta ("Black carbon", Derenne & Largeau, 2001). Portanto, as TPI são solos resultantes de atividades antrópicas, que de acordo o manejo do solo pode ser muitos férteis mesmo após varias décadas de uso (Madari *et al.,* 2004). Woods (2003) afirma que atividades de deposição humana trazem como conseqüência (Intencional ou não) o enriquecimento do solo, alterando as propriedades físicas e químicas. Resíduos em forma de biomassa acumulada de restos de colheita, carvão, restos de caça, pesca fragmentos de cerâmicas e outros utensílios, excrementos humanos, entre outros, fazem parte dos componentes dos sedimentos que formam as Terras Pretas de Índio (Glaser *et al*., 2001). Smith (1980) considera alto teor de fósforo (P) como um indicador de ocupação humana, já que sua presença nas TPI é atribuída as cinzas de material orgânico.

Apesar de que as TPI apresentam alta heterogeneidade, algumas propriedades gerais em relação à fertilidade são comuns: como altos valores de P e Ca totais disponíveis, baixa disponibilidade de nitrogênio (N) e potássio (K) (Lehmann *et al.* 2003a). As TPI da Amazônia têm níveis elevados de carbono, com concentrações de até 150 g C/kg de solo, em comparação aos solos circunvizinhos com 20 – 30 g C/kg de solo (Sombroek, 1966; Smith, 1980; Kern & Kämpf, 1989; Sombroek *et al.,* 1993; Glaser *et al.,* 2000). Mas também em tamanho e profundidade são variáveis; as grandes maiorias das TPI encontradas e estudadas tem menos de dois hectareas (Kern *et al.,* 2003), mas alguns sítios estudados podem estender-se a dezenas de hectareas. A profundidade das manchas geralmente varia entre 30 e 60 cm, mas já foram reportadas manchas de até 1 m de espessura da camada escura (Kern *et al.,* 2003).

Além das terras pretas cuja coloração está associada ao acumulo de resíduos pela habitação, Há, as "terras mulatas" (TM) consideradas também solos antrópicos,

mas que possuem características como níveis de fósforo (P) e cálcio (Ca) não tão elevados (Sombroek, 1966; McCann *et al.*, 2001; Kämpf *et al.,* 2003), rara presença de artefatos culturais (restos de cerâmicas), cor do solo não tipicamente preta, apresentando uma coloração castanha escuro (Sombroek, 1966), Muitos autores acreditam que a cor marrom escura deste tipo de solo antrópico foi o resultado de períodos longos de cultivos agrícolas conservacionistas sobre estes solos (Woods & McCann, 1999), de forma que estes solos se originaram e desenvolveram num caminho diferente, portanto tendo gêneses contrastantes (Mccann *et al.,* 2001; Neves *et al.,* 2003) daquelas das Terras Pretas. Os solos antrópicos de coloração marrom escura diferem também das outras TPI de coloração preta na profundidade de acumulo de sedimentos (horizonte A antrópico menos profundo), e menores concentrações de nutrientes, especialmente o P, e menos adição de resíduos (Woods, 2003).

Os horizontes antrópicos das TPI e TM podem ocorrer sobre uma variedade de tipos de solos, incluindo os Latossolos, Argissolos, Neossolos e Espodossolos, formando um horizonte A antrópico (Smith, 1980; Lima *et al.*, 2002). Mais freqüentemente em Latossolos e Argissolos. No entanto já se descreveram TPI em várzeas, sobre Neossolos Flúvico (Teixeira *et al.,* 2004). Em termos de idade, a grande maioria das "Terras Pretas de Índio" estudadas da Amazônia tem entre 500 a 2500 anos de idade (Neves *et al.,* 2003). Mas estudos realizados por Miller (1992) em TPI na região do rio Jamari (bacia do rio Madeira) indicam a presença de cerâmicas datadas entre 4800 a 2600 anos antes do presente (Neves *et al.,* 2003).

O maior responsável pelas mudanças climáticas globais na atmosfera é o dióxido de carbono (CO_2). Já desde o século XVIII se vinha antecipando o problema que hoje no século XXI é uma grande preocupação mundial, o "efeito estufa". Um dos grandes estudiosos, Arrhenius em 1896 afirmou que a queima de combustíveis fóssil e a industrialização aumentaria o CO_2 atmosférico, o que resultaria no aquecimento do planeta (Christianson, 1999).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Globais – IPCC em 2000 confirmou recentemente que a influência antrópico sobre o efeito estufa é uma realidade. O CO_2 atmosférico global aumentou de 280 ppm em 1750 para 379 ppm[3] em 2005 e as concentrações atmosféricas de hoje do CO_2 ultrapassa em muito a faixa

natural dos últimos 650.000 anos (180 a 300 ppm). A taxa de aumento das concentrações anual de CO_2 foi mais elevada durante os últimos dez anos (média de 1995 a 2005: 1,9 ppm por ano) (IPCC, 2007). As principais emissões de carbono para a atmosfera ocorrem pela queima de combustíveis fósseis, a produção de cimento, e queimadas, enquanto que a principal via de absorção de dióxido de carbono se da pelos oceanos e pela biota terrestre.

Segundo Chambers *et al*. (2000), entre 76% a 84% do fluxo de CO_2 total na floresta amazônica pode estar vindo do solo, o que representa globalmente uma grande fração para atmosfera, cujas maiores contribuições provêem de florestas tropicais e subtropicais (Raich *et al*., 2002). Porém, os trópicos úmidos têm importante papel no ciclo global do carbono. Estima-se que o desmatamento libere 1,6 Gt de C por ano para a atmosfera (Houghton, 2000), estando o papel da Amazônia como fonte ou sorvedouro de carbono ainda em discussão. Entretanto, estudos sobre as florestas tropicais úmidas mostraram a importância delas na estocagem e o ciclo global do carbono, devido à sua grande extensão, contendo em sua biomassa cerca de 40% de todo o carbono terrestre (Phillips *et al*., 1998).

Nas ultimas duas décadas, os ecossistemas terrestres vêm sendo considerados tão importantes quanto os oceanos na retirada e no armazenamento de carbono da atmosfera, mitigando o “efeito estufa” (Roscoe, 2006). A liberação ou o seqüestro de carbono nos solos é conseqüentemente, de grande importância para a mitigação do efeito estufa e aquecimento global. O carbono orgânico do solo é um reservatório de carbono importante no ciclo biogeoquímico global: a quantidade total de carbono orgânico nos solos é estimada em 2011 Gt e representa aproximadamente 82% do carbono orgânico global em ecossistemas terrestres (The Green Initiative, 2006).

Neste contexto, além da evidente importância das TPI como solos com alta fertilidade e potencial para agricultura, recentemente elas têm recebido atenção também devido a sua capacidade de estocar carbono, que, por sua vez, tem grande influência para o clima global. A capacidade das TPI de estocar e reter carbono de forma estável precisa ser melhor avaliada e entendida, uma vez que lições aprendidas com o processo de formação das TPI podem levar a novos mecanismos de manejo de carbono nos solos e assim contribuir para a mitigação do efeito estufa. Assim, além de

melhorar as estimativas dos estoques de carbono nas Terras Pretas, é necessário conhecer melhor sua capacidade de reter o carbono e nutrientes no perfil do solo. Sombroek *et al.* (1993), estimou estoques de carbono em 56 Mg C há $^{-1}$ em solos argilosos enquanto que para os solos arenosos foi de 34 Mg C ha $^{-1}$ ate 1 m de profundidade. Além disso, a matéria orgânica nas terras pretas é persistente, já que apresenta teores elevados de carbono mesmo anos depois que as áreas cultivadas de TPI são abandonadas. A razão para a estabilidade elevada do carbono do solo está atualmente sob discussão (Bechtold, 2007). A capacidade das TPI de estocar e reter carbono estável são, então, importantes para a mitigação do efeito estufa e precisa ser mais bem avaliada e entendida. Além de melhorar as estimativas dos estoques de carbono nas Terras Pretas, é necessário conhecer melhor sua capacidade de reter o carbono e nutrientes no perfil do solo, especialmente na parte superior do solo.

Nos últimos anos, estudos sob a dinâmica e estoque de carbono na solução do solo têm recebido muita atenção (McClain *et al.*, 1997; Neu, 2005). A matéria orgânica superficial é responsável pelo carbono orgânico dissolvido (COD) na solução do solo, como também o material orgânico fossilizado onde se encontra em concentrações relativamente baixas.

As concentrações de COD na camada orgânica do solo se mantêm altas como resultado de aporte e da lixiviação da matéria orgânica em decomposição na superfície do solo, mas à medida que a água percola pelo solo as concentrações decrescem, especialmente em solos como os Espodossolos e Latossolos, tendo maiores concentrações acima de 1 m (Thurmam, 1985; McClain *et al.*, 1997).

Este estudo teve como objetivo avaliar as variações de COD e sua relação com outras variáveis edáficas, visando conhecer as propriedades físico–químicas e estoques de carbono dos solos antrópicos e adjacentes, sob floresta secundaria e levando em conta sua grande variabilidade natural.

2. Objetivos

2.1. Objetivo Geral

- Caracterizar o carbono orgânico e os nutrientes em perfis de solos antrópicos e solos adjacentes sob floresta secundária na Amazônia central. A dinâmica de carbono e demais nutrientes na solução do solo também foi investigada.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar as propriedades físicas e químicas de solos antrópicos e adjacentes na Amazônia central.

- Determinar os estoques de carbono destes solos, seus estoques de macro e micro nutrientes além das concentrações destes na solução do solo.

- Avaliar as quantidades de carbono orgânico percoladas na solução do solo até 1 m de profundidade nos solos antrópicos e solos adjacentes e suas interações com outras variáveis edáficas e sazonalidade.

3. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O trabalho foi realizado em três regiões da Amazônia Central: Autaz Mirim (ATM), Encontro das Águas (EA) e Rio Preto da Eva (RP). Três tipos de solo: a) Terra Preta de Índio 1 (TP); b) Terra Preta de Índio 2 (*que de agora em diante será chamada de Terra Mulata - TM*) e; c) Solo Adjacente (SA). Instalou-se três parcelas por área de estudo, uma correspondente por cada tipo de solo num total de nove parcelas de 20 m x 80 m.

3.1. Localização e caracterização da área de estudo

O trabalho foi desenvolvido em três locais diferentes na Amazônia central (Figura 1):

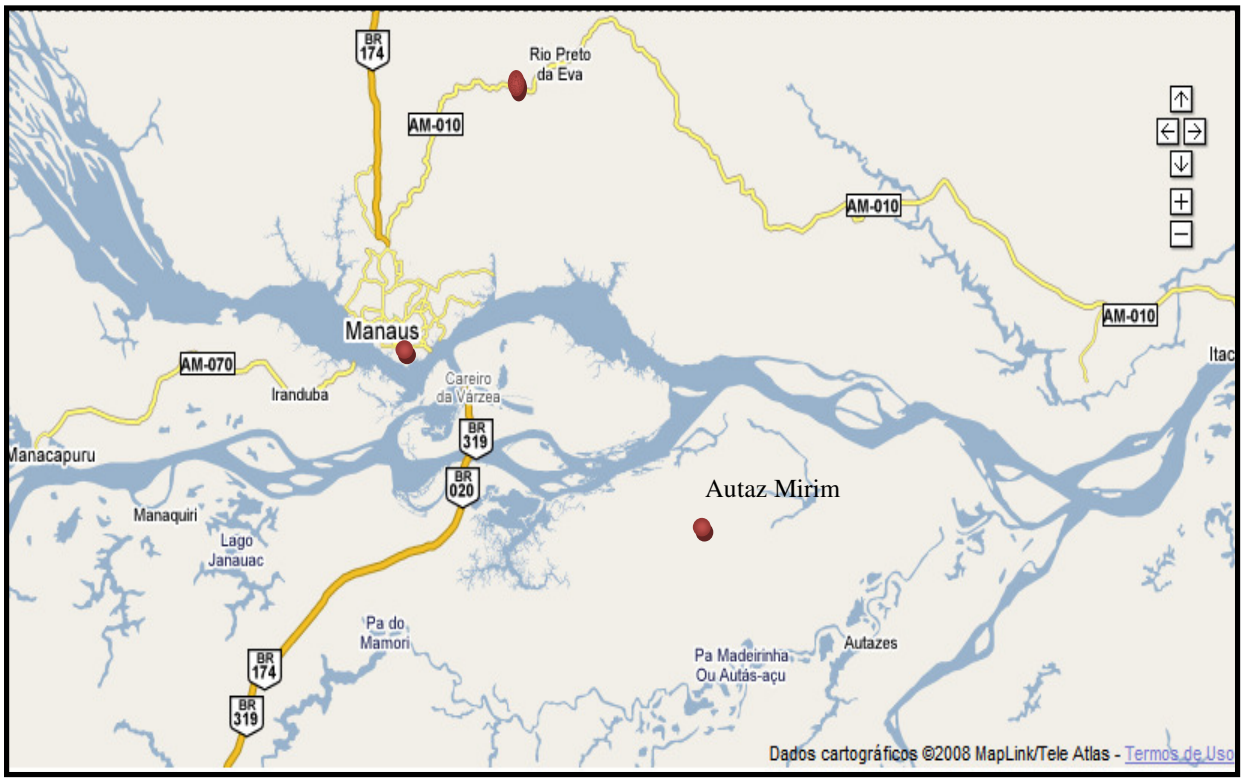


Figura 1. *Localização das áreas de estudo.*

- **Autaz Mirim** (**ATM)**: Sítio particular localizado à margem do rio Autaz Mirim, no km 21 do Ramal Careiro - Autazes (3°22'47"S e 59°41'49" W).
- **Encontro das Águas (EA)**: Localizada no Centro de Projetos e Estudos Ambientais do Amazonas – CEPEAM da Associação Soka Gakkai Internacional, localizada à margem do rio Amazonas, próximo ao Encontro das Águas, em Manaus (3°06'53"S e 59°54'31"W).
- **Rio Preto** (**RP**): Área localizada às margens do Rio Preto (alto rio), na comunidade Nova Jerusalém, a 14 km do Município Rio Preto da Eva (02°33'54,4"S e 59°46'15,1" W).

O clima da região é tropical úmido e quente, com precipitação média anual de 2500 mm, temperatura média anual de 24 a 26 °C e umidade relativa do ar de 80 a 93%. O solo predominante na região estudada é o Latossolo Amarelo álico (Oxisol). A vegetação, em todas as parcelas de estudo, é de floresta secundária de aproximadamente 20-30 anos após o término da intervenção humana, com abundância de palmeiras, principalmente o tucumã (*Astrocaryum aculeatum*), buriti (*Mauritia flexuosa*), limorana (*Chomelia anisomeris*), e leguminosas como o ingá (*Inga sp*).

3.2. BREVE HISTÓRICO DAS ÁREAS:

Autaz Mirim (ATM)

A parcela com TPI foi cultivada de forma intensiva, primeiramente por roças e pastagens e, por ultimo, somente com roças, que foram abandonadas há aproximadamente 30 anos, que atualmente constitui uma floresta secundária alta e densa. As parcelas de solos adjacentes foram utilizadas com roças e, em seguida abandonadas há mais de 30 anos, agora também são formadas por floresta secundária alta e densa que recentemente está sofrendo novamente exploração seletiva de madeira. Nesta região a parcela dos três tipos de solo em estudo encontra-se em topografias plana, facilitando a locomoção e coleta de amostras uniformes.

Encontro das Águas (EA)

A área atualmente pertence à ONG Soka Gakai Internacional, e foi adquirida em 1989, quando então era uma fazenda decadente com a maioria da área formada por pastagens abandonadas em fase de regeneração natural.

A vegetação secundária natural foi mantida, desenvolvendo capoeiras que atualmente têm aproximadamente 20 anos de idade. A topografia da área é relativamente plana na TPI, em quanto a TP 2 “Terra Mulata” apresenta uma pendente moderada. A área do solo adjacente LA, a topografia é marcadamente plana.

Rio Preto da Eva (RP)

Grande parte das parcelas com Terra Preta de Índio encontra-se em pequenos platôs de uma capoeira que não é roçada há 30 anos, mas apresenta uma floresta secundaria baixa e aberta. Já a parcela de solo antrópico TP2 “Terra Mulata” e adjacente foram exploradas por madeireiras, depois com roças (cultivos agrícolas de ciclo curto) e em seguida abandonadas. A exploração madeireira ocorreu há mais de 30 anos. Á área de Terra Mulata apresenta uma vegetação pouco densa e estreita além de ser parte delas numerosos cipós finos e plantas trepadoras que invadem as copas de árvores baixas, todas as áreas apresentam uma topografia relativamente plana.

Em cada um das parcelas foram abertos perfis modais para à amostragem do solo e também foram instalados três (1, 2 e 3) sistemas de extração de solução do solo (SESS); cada sistema de extração de solução do solo constou de três extratores (*a, b, c*), instaladas em profundidades de 20 cm, CA (Tabela 1) e 1 m (Figura 2).

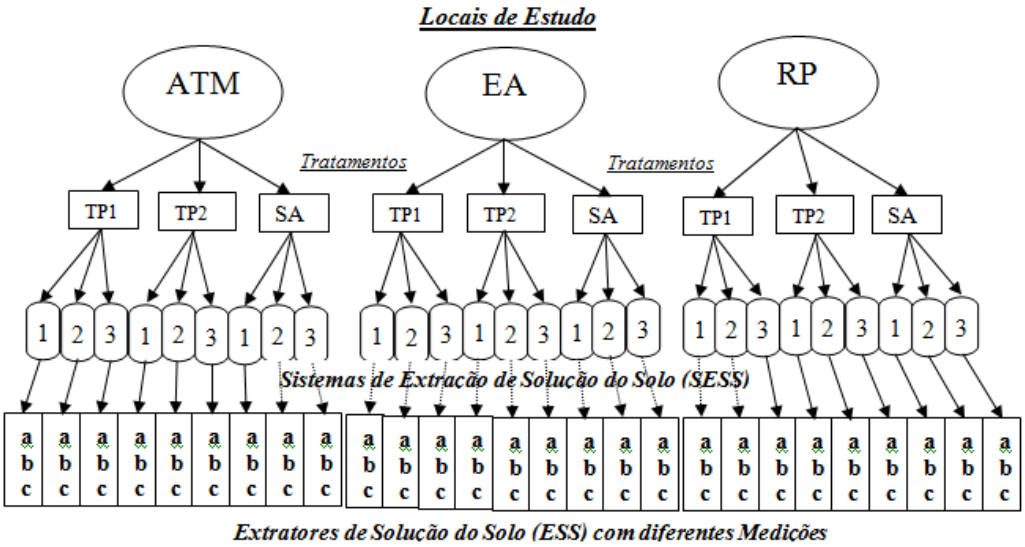


Figura 2. *Delineamento Experimental. Autaz Mirim (ATM), Encontro das Águas (EA), Rio Preto (RP); Terra Preta de Índio (TP1 e TP2), solo adjacente (SA); Sistemas de Extração de solução do solo (1,2,3); Extratores de solução do solo (ESS) com diferentes medições (a,b,c).*

No total foram instalados 81 extratores de solução de solo nos três locais do estudo.

As medidas dos ESS foram feitas em três profundidades diferentes, escolhidas para este estudo: extrator "a": 20 cm, extrator "c": 1 m; o extrator "b" foi instalado de acordo com a profundidade das camadas orgânicas das Terras Pretas de Índio (CA) encontrado (TP1 e TM); foram colocado imediatamente abaixo do final da camada escura dos solos com horizontes antrópicos, medidas na Tabela 1.

Tabela 1. *Medidas dos extratores "b" segundo as camadas (CA) dos solos antrópicos (TPI) dos três locais de estudo.*

Local	**ATM**		**EA**		**RP**	
Tratamento	TP	TM	TP	TM	TP	TM
Repetição	Extrator "b" (cm)	Extrator "b" (cm)	Extrator "b" (cm)	Extrator "b" (cm)	Extrator "b" (cm)	Extrator "b" (cm)
1	32	37	45	36	60	36
2	41	47	30	27	64	30
3	41	37	30	27	55	40

No tratamento SA (controle), a profundidade do extrator "b" foi à mesma do tratamento TP1 e TP2 correspondente em cada área estudada.

A distribuição dos Sistemas de Extração de Solução do Solo (SESS) dentro de cada parcela experimental, que tinha 20 m x 80 m de extensão, foram feitas de forma sistemática, com distancias igual das margens e entre si, com a finalidade de abranger mais eqüitativamente a área (Figura 3).

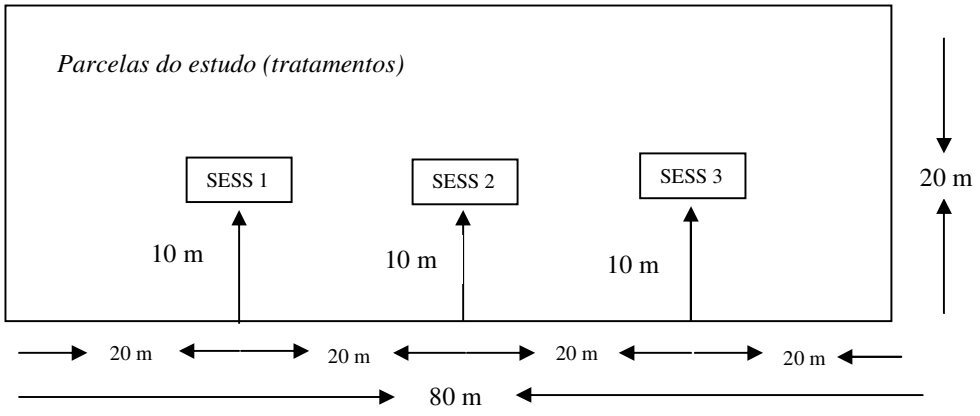


Figura 3. *Distribuição sistemática dos Sistemas de Extração de Solução do Solo (SESS) dentro das parcelas.*

3.3. PROCEDIMENTO AMOSTRAL

3.3.1. Amostragem do solo

Escavou-se um (1) perfil modal, em cada tipo de solo estudado (TP, TM, e SA), com dimensão de 1 m x 1 m x 1 m para a descrição morfológica (Lemos & Santos, 1996) (Figura 4). Coletaram-se amostras com estrutura deformada e indeformada nos diferentes horizontes pedogenéticos identificados, para as determinações físicas e químicas tais como, no solo: Densidade aparente, granulometría, pH em água e KCl, determinação de concentrações de Ca, Mg, K, P, Al, Zn, Mn e Fe. Além do C e N total; na solução do solo: Determinação de carbono orgânico dissolvido (COD), Na, Ca, K, Mg, NH_2, NH_3, NH_4, e PO_4.

A partir do perfil modal do solo, procedeu-se tradagens aleatorias de cinco (5) pontos adicionais a cada 10 m, tratando de cobrir toda a parcela, para obtenção de repetições de amostragem (Figura 5). Os quais corresponderiam as amostras deformadas, que foram armazenadas em sacos plásticos de 0,5 kg, sendo posteriormente secas ao ar, limpas de qualquer resíduo, peneiradas em peneiras de 2 mm. Desta forma, amostras de terra fina seca ao ar (TFSA) foram encaminhadas para análise de laboratório.

Terra Preta **Terra Mulata** **Solo Adjacente**

Figura 4. *Perfis modais abertos dos diferentes tipos de solo em estudo: Terra Preta (TP), Terra Mulata (TM) e Solo Adjacente (SA).*

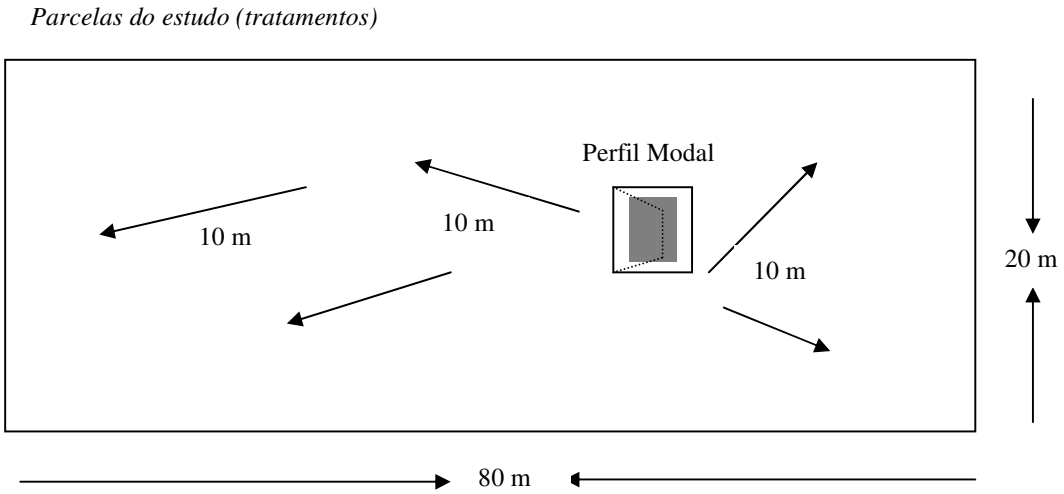


Figura 5. *Procedimento de amostragem com tradagem aleatória a partir do perfil modal.*

3.3.2. Amostragem da solução do solo

As amostras de solução de solo foram obtidas com os extratores de solução com cápsulas de cerâmica porosa com diâmetros de 23 mm e 60 mm de altura, coladas no um dos extremos de tubos de PVC (Figura 6), os quais (distribuídos em baterias de três unidades por caixa de isopor, Figura 7A) tiveram três medidas a diferentes profundidades: duas delas com medidas padronizadas a 0,2 m (extrator "a") e 1,0 m (extrator "c"); a outra medida (extrator "b") foi feita logo abaixo do final da camada escura (CA) de Terra Preta do Índio (solos antrópicos: TP e TM) de cada uma dos locais em estudo (ATM, EA e RP, Figura 7B). Esses extratores possibilitaram a coleta de amostras de solução do solo ao longo do tempo em cada uma das parcelas de 20 m x 80 m representando os três tratamentos do estudo.

As coletas foram realizadas seguindo várias etapas, com auxilio de uma bomba de vácuo para gerar uma diferença de pressão, aplicando-se uma pressão de 0,6 bar no sistema cápsula-solo (Figura 7C), tornando possível a coleta da solução do solo. Após a instalação, o sistema foi deixado equilibrar por um período de 45 dias, desprezando-se a primeira coleta. No campo, as amostras foram armazenadas em recipientes apropriados previamente descontaminados e conservadas bem fechadas e sob refrigeração até sua chegada no laboratório para a análise correspondente.

A coleta de solução do solo foi realizada em blocos inteiramente ao acaso, a cada 15 ou 20 dias, podendo estender-se ate 30 dias nas épocas secas.

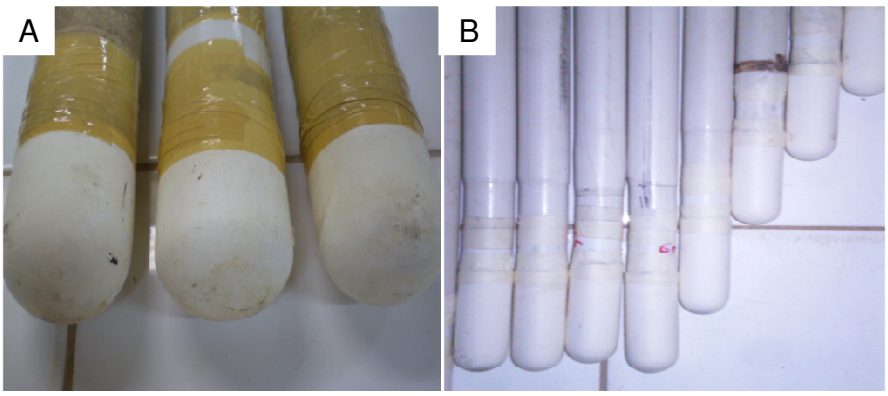


Figura 6. *Cápsulas de cerâmica porosa com diâmetros de 60 mm (A) e 23 mm (B) de altura, coladas em um dos extremos dos tubos de PVC.*

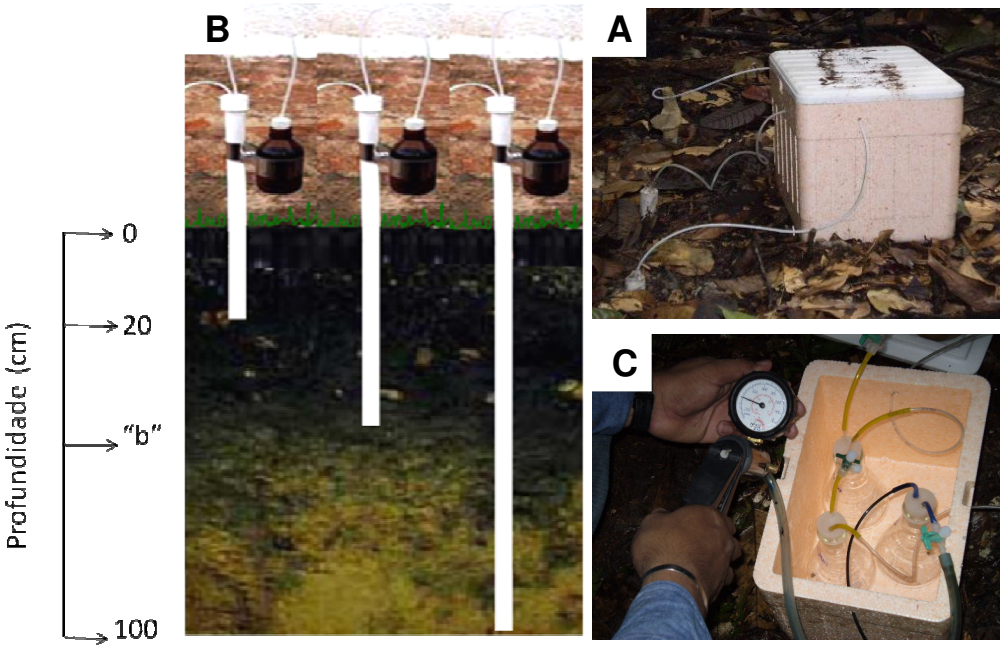


Figura 7. (*A) Baterias de três unidades de ESS em caixa de isopor, (B) Distribuição dos ESS em diferentes profundidades no solo, (C) Bomba de vácuo para gerar uma diferença de pressão, aplicando-se uma pressão de 0,6 bar no sistema cápsula-solo.*

Os sistemas de ESS (Figura 8A) além de cápsulas porosas coladas no extremo de tubos de PVC estavam constituídos por outros componentes, como: capilares PU, sendo estes interligados a um frasco erlemeyer de 250 ml, devidamente fechado com uma rolha de silicone sendo interligado através de um pequeno furo para a inserção do capilar PU através desse orifício (Figura 8B), sendo possível o armazenamento da solução do solo dentro do erlemeyer.

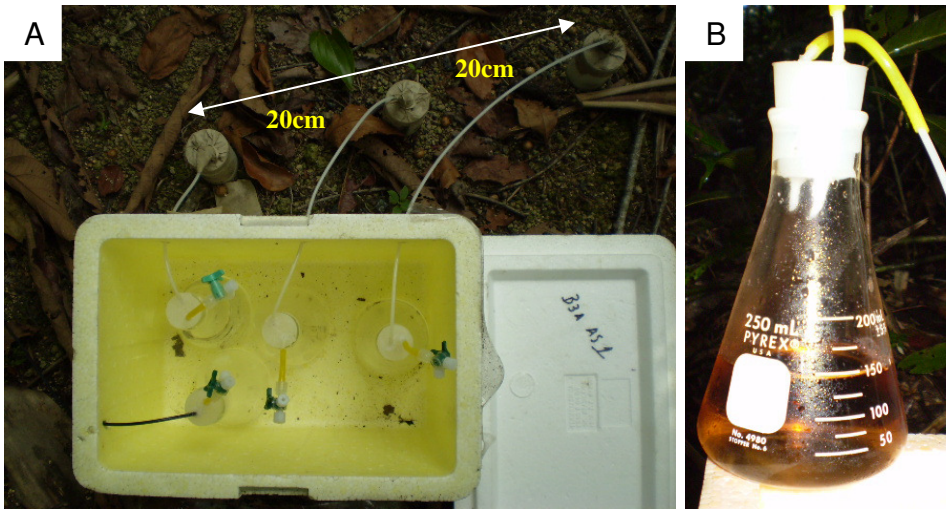


Figura 8. (A) *Sistema de extração de solução do solo (SEE), instalado nas áreas de estudo; (B) Solução do solo coletada através dos SEE.*

A solução do solo obtida por diferença de pressão, coletada uma seringa de 50 ml previamente esterilizada (Figura 9C). Para coleta de fase orgânica (concentrações de COD) estas amostras foram filtradas utilizando-se filtros de membrana de vidro marca Whatman GFF de 0.7 µm (Figura 9D), após a filtragem as amostras foram colocadas em frascos de vidro borossilicatado I-CHEM, neste caso de 20 ml previamente calcinados à temperatura de 500 ^{o}C durante 5 horas (Figura 9E). As amostras receberam no campo ou mais tardar no laboratório no mesmo dia da coleta, 0,25 ml de cloreto de mercúrio ($HgCl_2$) com concentrações de ate 300 µM de Hg como preservante. Posteriormente as amostras formam mantidas em refrigeração, por um Maximo de 30 dias ate serem analisadas.

Para as coletas de fase inorgânica, (concentrações de cátions e anions), as amostras receberam o mesmo procedimento da fase orgânica, só diferenciando-se do preservante e dos frascos. Neste caso após a filtragem as amostras foram colocadas em frascos de polietileno HDPE marca Nalgene de 30 ml previamente esterilizadas com água destilada ou ultrapura, os quais já continham o thymol como preservante em concentrações de 100 mg / 100 ml de solução (Figura 9F). Logo mantidas em refrigeração ate serem analisadas.

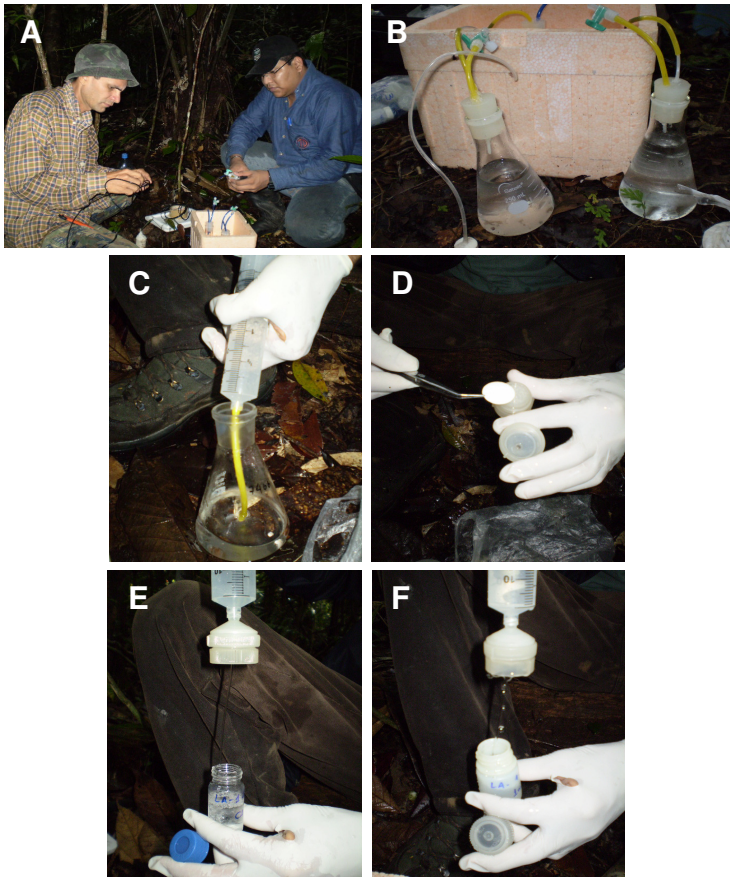


Figura 9. *(A - D) Procedimento de amostragem da solução solo, (E) Amostras orgânicas conservadas em $HgCl_2$ (300 µM de Hg) em vidros I-CHEM, (F) Amostras conservadas em Thymol em frascos de polietileno HDPE.*

A seringa utilizada para auxiliar as coletas de amostras de solução do solo inicia-se estéril por serem novas, mas é muito importante lavá-las com água destilada uma vez terminada a coleta da solução de um extrator para então passar ao próximo.

3.4. ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS DOS SOLOS

Todas as análises foram realizadas no Laboratório Temático de Solos e Plantas (LTSP) do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, com exceção das análises de carbono e nitrogênio totais que foram realizadas no laboratório de solos da Universidade Federal do Paraná.

3.4.1. Física do solo

3.4.1.1. Densidade aparente

Para estimar a densidade do solo foi utilizado o método do anel volumétrico, com amostras de solo de estrutura indeformada (Figura 10B). As amostras foram coletadas através de um anel de aço de bordas cortantes e volume interno conhecido (anéis de Kopecky) (Figura 10A). Depois de pesado, o conjunto de amostra e anel foi colocado em estufa a 105 ^{0}C durante 48 horas, para obtenção da massa do solo seco (EMBRAPA, 1997). O cálculo para obter a densidade aparente é o seguinte:

$$\text{Densidade aparente (g/ cm}^3\text{)} = \text{Massa (g) / Volume (cm}^3\text{)} \qquad (1)$$

Onde Massa se refere ao peso seco da amostra e volume se refere ao volume interno do anel de Kopecky

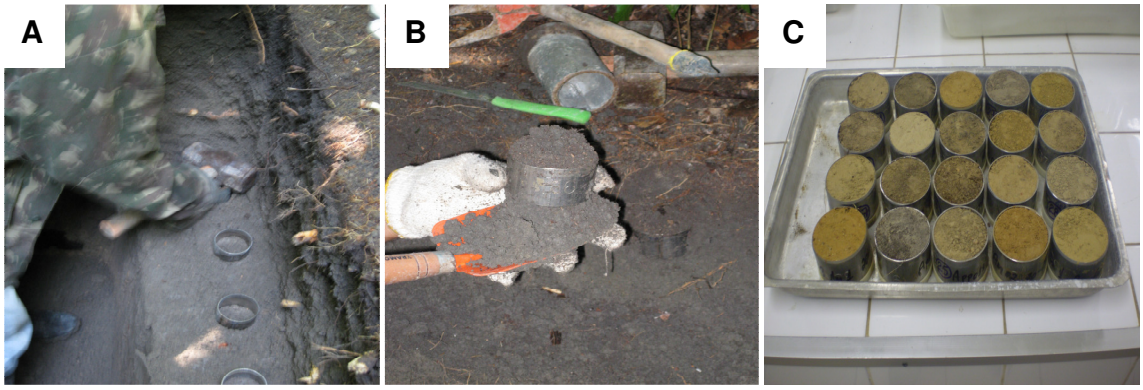


Figura 10. *(A) Amostragem nos intervalos verticais dos horizontes do perfil modal. (B) Amostra indeformada com os anéis de Kopecky. (C) Amostras prontas para serem secas em estufa.*

3.4.1.2. Textura do solo (Granulometría)

Para determinar a textura do solo foi quantificado o teor de argila pelo método da pipeta, separando as frações de areias por meio de tamisamento, sendo o teor de silte calculada por diferença (Embrapa, 1997). Utilizando peróxido de hidrogênio (H_2O_2) para queima a matéria orgânica das amostras de solo, agindo por 24 h, Após foi utilizado o pirofosfato de sódio ($Na_4P_2O_7$) como dispersante químico, sob 15 minutos de agitação em um agitador mecânico de alta rotação. Após a dispersão do solo, a fração areia é retida em uma peneira e a solução restante transferida para uma proveta onde então, pipeta-se 20 ml da suspensão para determinar a argila após o termino de determinado tempo de decantação (Figura 11).

Figura 11. *Procedimento para determinação da textura pelo método da pipeta e tamisação.*

3.4.2. Análises químicas

3.4.2.1. Macronutrientes e Micronutrientes do solo

A determinação de Cálcio, Magnésio e Alumínio trocáveis, foi feita por meio de extração com cloreto de potássio (KCl 1 mol L^{-1}) (Silva, 1999). Cálcio, magnésio e alumínio foram determinados por Espectrofotometria de Absorção Atômica – EAA (Figura 12A), com a adição de solução de oxido de lantânio 0.5% para evitar interferências na leitura. Para a determinação de Fósforo disponíveis e o Potássio, Ferro, Zinco e Manganês foram feitas extrações com solução Mehlich 1, também chamada de solução de duplo-ácido ou Carolina do Norte (Silva, 1999), que é constituída por uma mistura de HCl 0,05 M + H_2SO_4 0,0125 M. O emprego dessa solução como extratora de P, K, Fe, Mn e Zn baseia-se na solubilização desses elementos pelo efeito de pH, entre 2 e 3, sendo o papel do Cl^- o de restringir o processo de readsorção dos fosfatos recém extraídos, o K, Fe, Mn e Zn, foram feitas por Espectrofotometria de Absorção Atômica – EAA, enquanto a determinações do P foram feitas por colorimetría no espectrofotômetro (Figura 12B), usando molibidato de amônio ($MoNH_4$) e ácido ascórbico a 3%.

3.4.2.2. Carbono orgânico total e nitrogênio total

Após as amostras terem sido secas ao ar e passadas em peneira de 2 mm, as mesmas foram moídas e passadas em peneiras de 212 µm, com a finalidade de aumentar a homogeneidade das amostras. As mesmas foram guardadas em frascos plásticos, posteriormente pesadas em cápsulas de estanho com aproximadamente 25 à 30 mg de solo. No laboratório as análises do carbono e nitrogênio totais dos solos foram realizadas em analisador Vario Macro CN.(Figura 12C).

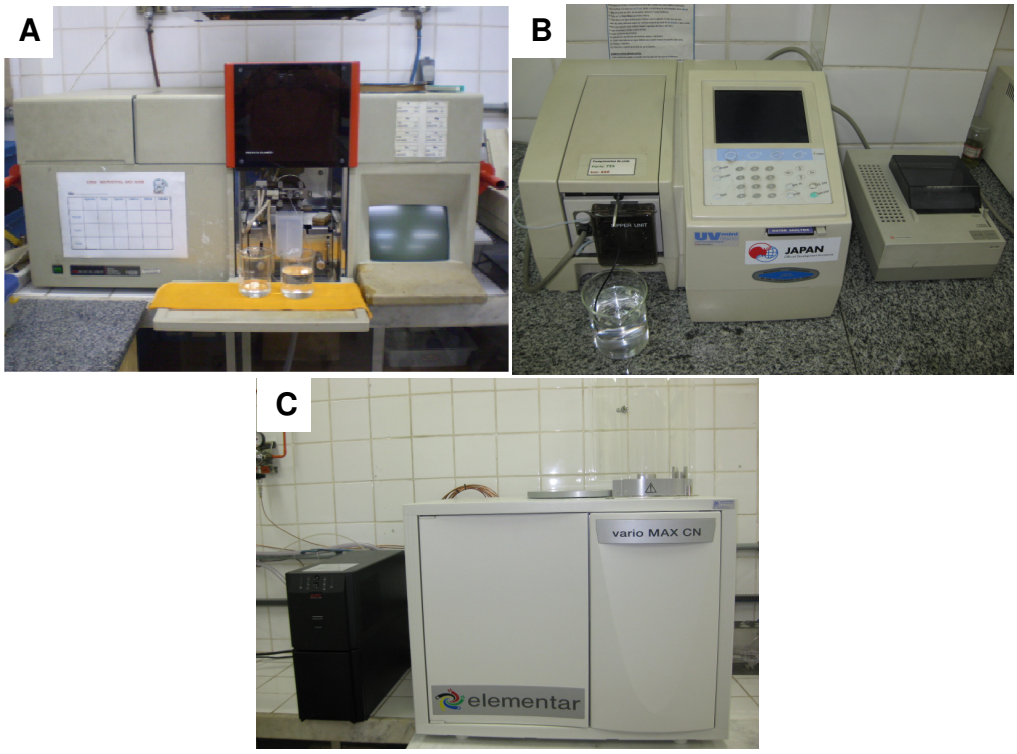


Figura 12. *(A) Espectrofotômetro de Absorção Atômica, (B) Espectrofotômetro de Colorimetria, (C) Auto analisador de carbono e nitrogênio.*

3.5. ANÁLISE QUÍMICA DA SOLUÇÃO DO SOLO

As análises de carbono orgânico dissolvido (COD), cátions e anions da solução do solo foram realizados no laboratório de Águas da Coordenação de Pesquisas de Recursos Hídricos e Clima (CPRHC) do INPA.

A determinação do COD foi realizada em analisador de Carbono Orgânico Total (SHIMADZU modelo TOC 5000A) (Figura 13A), O qual tem como princípio analítico a detecção de CO_2 por infravermelho não dispersivo. É feita a combustão das amostras à 690°C e o CO_2 gerado é quantificado. A determinação das concentrações de cátions (Na, NH_4, K, Mg e Ca) e anions (Cl, NO_2, NO_3, PO_4, SO_4) foi feita por cromatografia liquida, no equipamento DIONEX modelo DX1000 (Figura 13B).

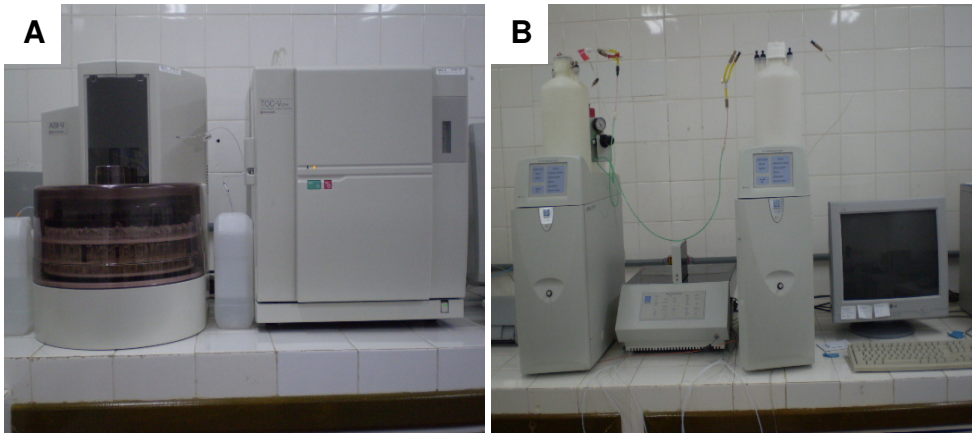


Figura 13. *(A) Analisador de carbono total SHIMADZU 500A, (B) Cromatógrafo liquido DIONEX 1000.*

4. RESULTADOS

4.1. Características físicas dos três tipos de solos estudados

Em geral, as áreas de Terra Preta mostraram-se muito variáveis quanto à granulometria (Tabela 2 e Figura 14) com a classificação textural variando de arenoso para argiloso. Na TP de Rio Preto da Eva, há o predomínio da fração areia, Enquanto na TP do Encontro das Águas há o predomínio da fração argila (700-800 g kg^{-1} ou 70-80% respectivamente). Comparada as outras áreas, a TP do Autaz Mirim possui textura media, com aproximadamente 600 g kg^{-1} de areia, 300 g kg^{-1}de argila e 100 g kg^{-1} de silte. Nenhuma das áreas de Terra Preta apresentou variação textural acentuada com o aumento da profundidade.

Em geral, as áreas de Terras Mulatas se mostram homogêneas em relação à teores de areia. Contudo, duas das três áreas de estudo nas TM (EA e RP) apresentaram um gradiente de argila aumentando com a profundidade, que varia entre 10% de argila na superfície ate quase 50% à 1 m. Em contraste, na área de ATM a TM, que tem em torno de 20 % de argila, não apresentou variação em profundidade, sendo a textura da mesma semelhante à da TP de ATM.

Nos Solos Adjacentes de todas as áreas estudadas, os teores de argila foram muito superiores do os dois solos antrópicos. Os solos de ATM e EA ambos têm teores de argila >85%, enquanto que no solo adjacente de Rio Preto da Eva a textura é menos argilosa, com os teores de argila em torno de 50%.

Tabela 2. *Resultados das analises Físicas e químicas dos três tipos de solo (TP, TM, SA) ate uma profundidade de 20 cm nas áreas de estudo ATM, EA e RP*

Local	SOLO	Prof.	AREIA	ARGILA	SILTE	DA	pH	pH	Ca	Mg	K	Al	P	Fe	Zn	Mn	SB	CTC	V	m
		(cm)	%	%	%	g/cm³	H_2O	KCl	.....cmolc kg^{-1}.....				.....mg/kg.....				...cmolc kg^{-1}...		%	%
ATM	TP	0 - 20	60,14±	28,91	10,94	1,10	4,21	3,80	0,93	0,05	0,07	2,20	7,05	102,60	0,46	0,70	1,05	3,25	32,42	67,58
	TM	0 - 20	54,11	33,10	12,79	1,29	3,84	3,55	2,07	0,08	0,06	2,10	5,97	165,36	1,62	0,88	2,21	4,31	51,34	48,66
	SA	0 - 20	4,95	85,62	9,43	0,90	3,90	3,58	1,47	0,09	0,52	5,51	2,48	133,72	0,88	2,78	2,09	7,60	27,46	72,54
EA	TP	0 - 20	24,65	63,36	11,99	1,12	5,58	5,10	4,85	0,82	0,08	0,22	63,79	10,48	10,98	21,75	5,75	5,97	96,32	3,68
	TM	0 - 20	70,09	19,95	9,95	1,40	4,16	4,07	0,36	0,09	0,03	1,81	17,21	95,70	1,37	4,92	0,47	2,28	20,68	79,32
	SA	0 - 20	12,41	85,16	2,43	0,78	3,57	3,68	0,07	0,05	0,05	5,07	5,13	82,48	1,08	1,43	0,17	5,24	3,30	96,70
RP	TP	0 - 20	87,36	9,13	3,50	1,27	4,33	4,03	0,12	0,06	0,48	1,53	158,77	42,16	0,54	3,36	0,66	2,20	30,25	69,75
	TM	0 - 20	72,46	23,51	4,04	1,19	3,72	3,80	0,08	0,04	0,36	1,98	4,21	111,40	0,22	1,68	0,48	2,46	19,56	80,44
	SA	0 - 20	47,38	45,52	7,11	0,96	4,10	3,90	0,08	0,06	0,36	1,77	4,01	104,90	0,40	0,88	0,50	2,28	22,05	77,95

DA= Densidade Aparente; SB = Soma de bases; CTC = capacidade de troca de cations; V = saturação por bases; m = Saturação por Aluminio

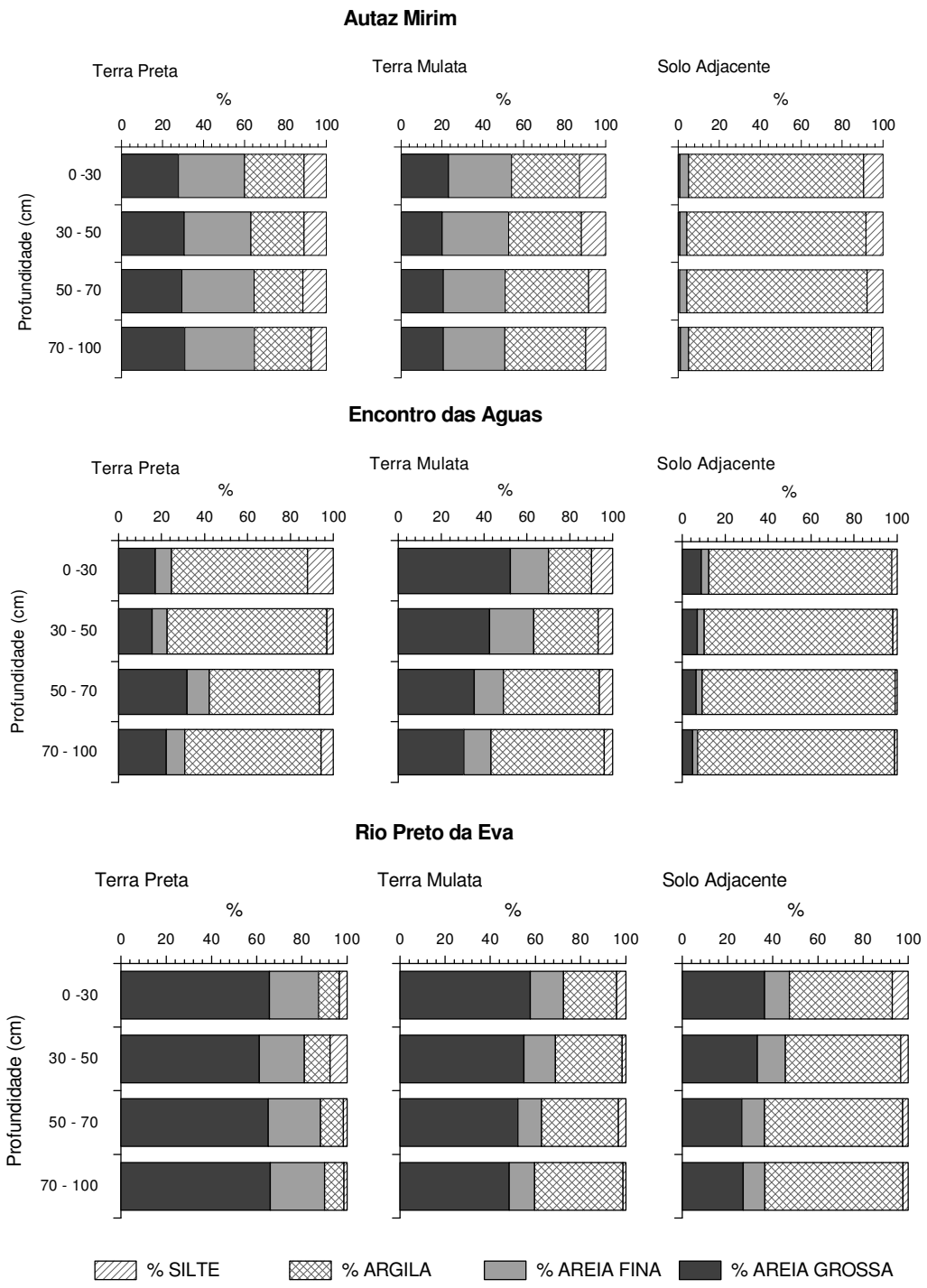


Figura 14. *Distribuição granulométrica (%) dos diferentes horizontes dos três tipos de solos (TP1, TM, SA); nas diferentes áreas de estudo (ATM, EA, RP).*

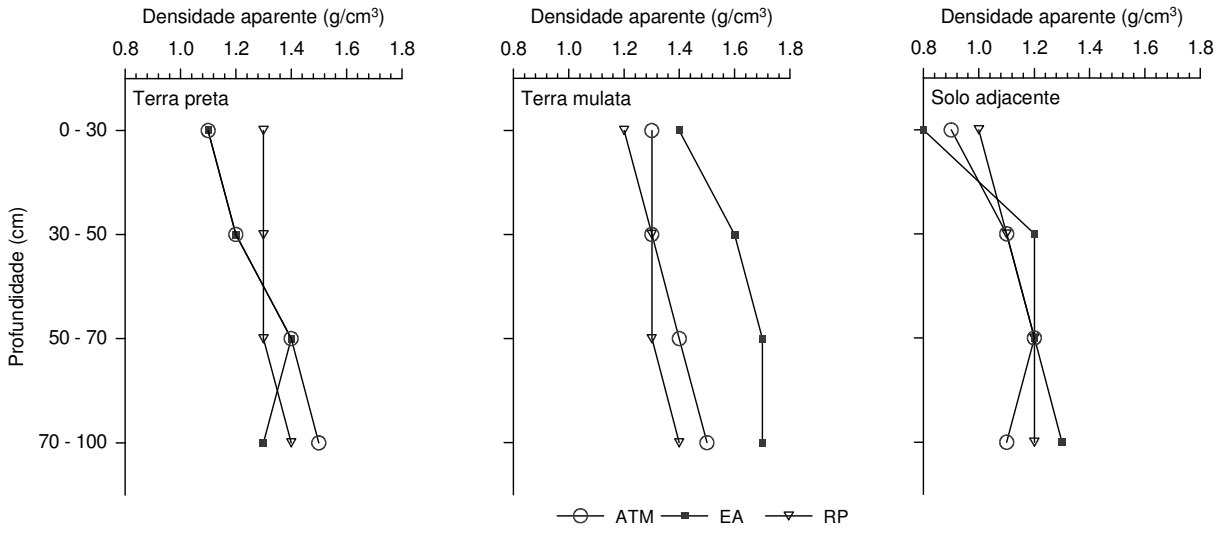


Figura 15. *Densidade aparente dos diferentes horizontes dos três tipos de solos (TP, TM, SA); nas diferentes áreas de estudo (ATM, EA, RP).*

A Figura 15 apresenta os resultados da analise de densidade aparente do solo nas diferentes áreas. Os solos de Terra Preta e Terra Mulata em geral apresentaram densidades do solo similares, variando entre 1,2 e 1,4 g/cm^3, com a exceção da Terra Mulata de EA que apresentou valores mais altos de densidade, variando de 1.4 g/cm^3 na superfície do solo até 1.7 g/cm^3 a 1 m de profundidade. Em contraste, os solos adjacentes apresentaram valores mais baixos do que os encontrados nas Terras Pretas e Mulatas, estando a densidade destes solos abaixo de 1,2 g/cm^3.

4.2. Características químicas dos solos

4.2.1. Fósforo e Cátions trocáveis

As concentrações dos macronutrientes Ca, Mg, K e P, encontradas na superfície do solo (camada 0-20 cm), em geral obedeceram a ordem TP>TM>SA, enquanto os teores de Al seguiram ordem inversa (Tabela 2). Por conseguinte, teores de alumínio trocável (Al) tenderam a ser mais altos nos solos adjacentes do

que nos horizontes antrópicos (Figura 16). Já se observando os perfis como um todo, os teores de cálcio e magnésio trocáveis (Ca e Mg, respectivamente) não diferiram significativamente entre as áreas, com a única exceção da Terra Preta do Encontro das Águas que apresentou altos teores de Ca e Mg quando comparada aos outros solos. Entretanto, nota-se também um efeito regional nos solos de Autaz Mirim uma vez os mesmos apresentaram concentração de Ca uniforme, não importando a ordem TP>TM>SA. Em termos de fósforo (P), altas concentrações foram encontradas nas Terras Pretas de EA e RP e também na Terra Mulata do EA. Ao contrário do que seria esperado para Terra Preta, em ATM os teores de fósforo formam similares dos demais solos, variando entre 1 e 5 mg/kg. Com exceção para o P, os solos mais arenosos de RP tiveram os menores teores de nutrientes.

4.2.2. Micronutrientes

Para os macronutrientes também foi encontrada pouca variação nas concentrações de ferro, manganês e zinco (Fe, Mn e Zn, respectivamente) entre os diferentes solos. As áreas estudadas não apresentaram nenhum padrão sistemático que pudesse ser associado ao tipo de solo ou ao sistema de manejo. Em geral, concentrações de micronutrientes obedeceram a ordem Fe>Mn>Zn, todavia este padrão se inverte nas Terras Pretas de EA e RP. Nestas áreas Mn e Zn são os micronutrientes dominantes, enquanto Fe ocorre nas menores concentrações encontradas neste estudo.

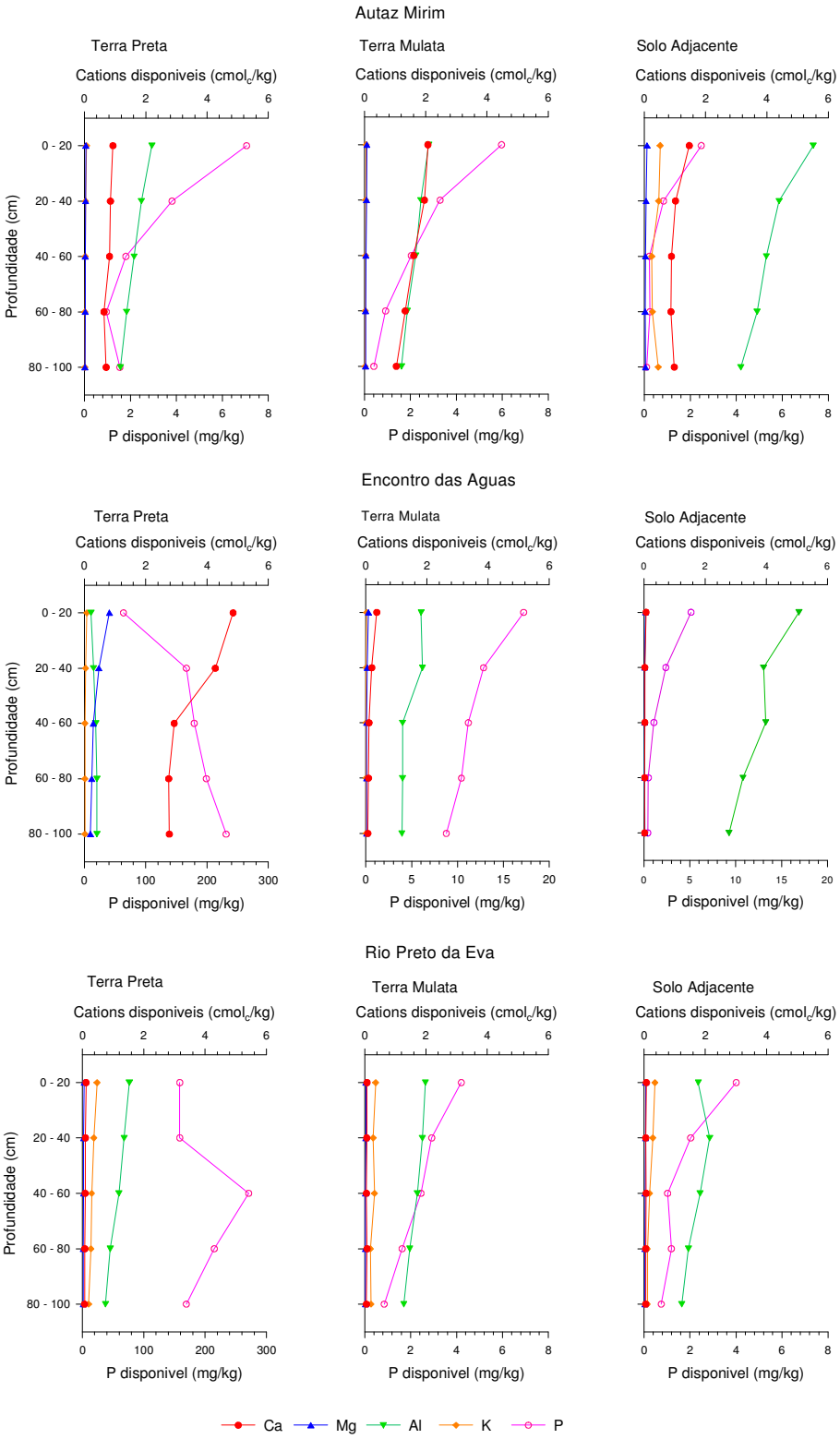


Figura 16. *Concentrações de cátions trocáveis e fósforo atem 1 m de profundidade, dos três tipos de solos (TP1, TM, SA); nas diferentes áreas de estudo (ATM, EA, RP).*

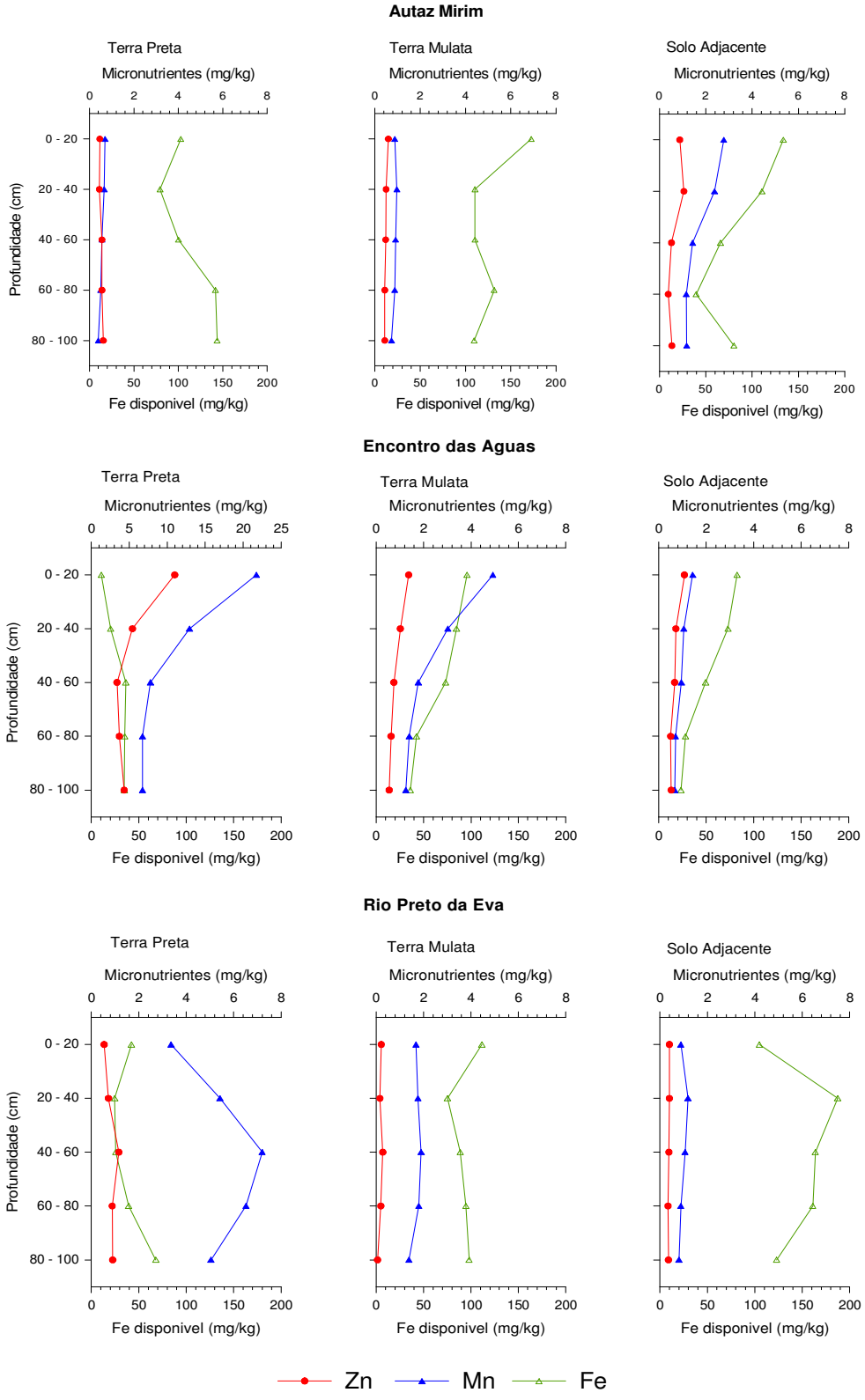


Figura 17. *Concentrações de Micronutrientes trocáveis ate 1 m de profundidade, dos três tipos de solos (TP1, TM, SA); nas diferentes áreas de estudo (ATM, EA, RP).*

4.2.3. Carbono e Nitrogênio

Em geral, concentrações de carbono foram maiores nos solos adjacentes do que nos antrópicos, apesar das diferenças morfológicas observadas nas Terras Pretas e Mulatas que poderiam sugerir maior concentração de C nesses solos. Entretanto, observou-se que a concentração de C nos solos estudados variou em função da granulometría dos mesmos. A Figura 19 apresenta a variação das concentrações de C em função dos conteúdos de areia e argila, em diferentes profundidades. Para a camada superior do solo, à concentração de carbono aumenta linearmente com a concentração de argila (R^2 = 0.89), enquanto que esta influencia decresce com o aumento da profundidade ate a camada de 70-100 cm onde a importância da argila em influenciar o conteúdo de C volta a aumentar (R^2 = 0.42, 0.02 e 0.20 a 30-50, 50-70 e 70-100 cm, respectivamente). A areia destes solos provocou efeito contrario ao de argila, com concentrações de C decrescendo com o aumento de areia.

A Tabela 3 apresenta os estoques de carbono no solo calculados para a área de estudo. Os solos adjacentes apresentaram os maiores estoques de carbono variando entre 86 e 161 Mg C/ha ate a profundidade de 1 m, enquanto que as Terras Pretas variaram entre 75 e 137 Mg C/há (Tabela 3). As Terras Mulatas apresentaram os valores mais baixos de estoque de carbono, com a exceção da TM de Autaz Mirim que apresentou estoque de 151 Mg C/ha.

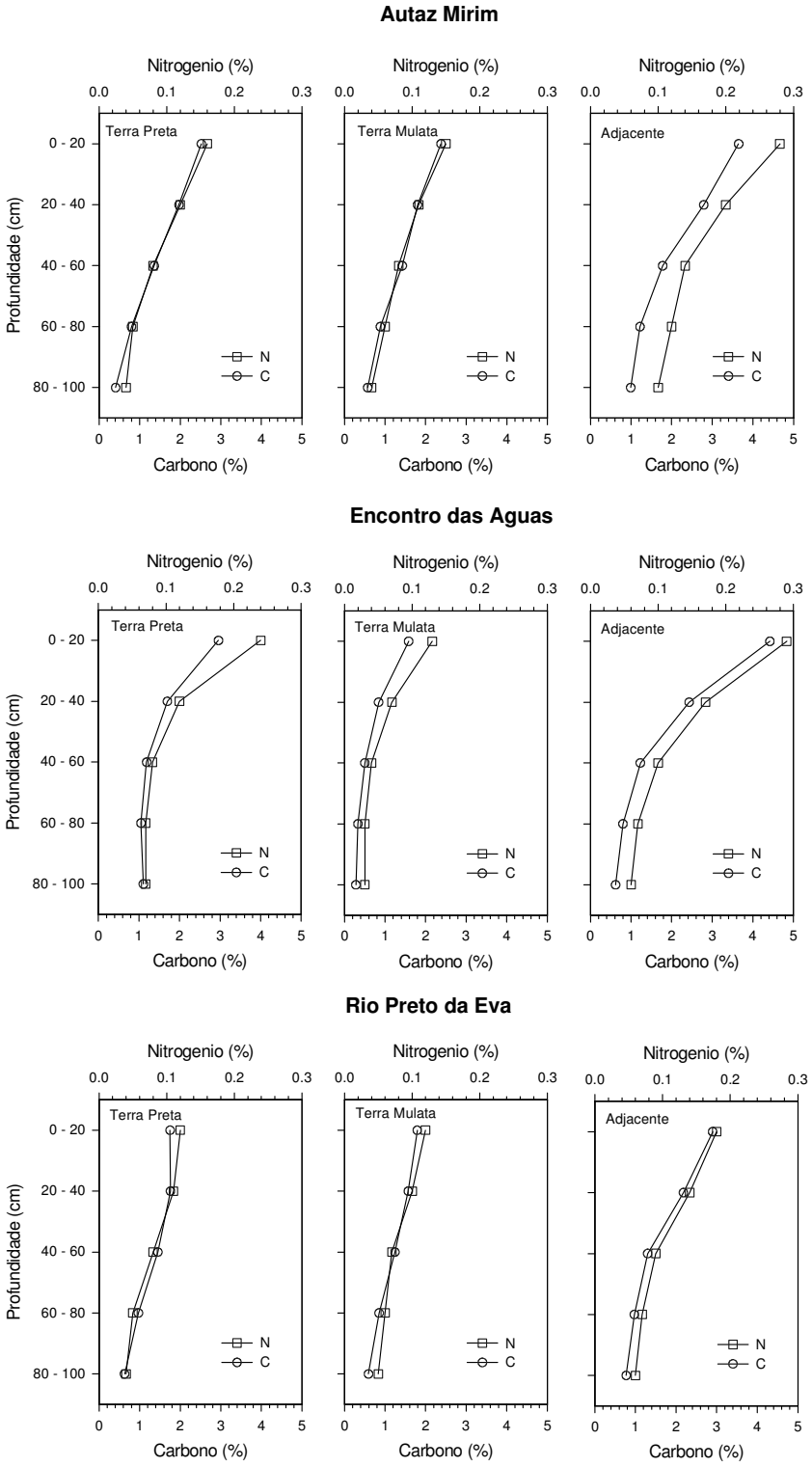


Figura 18. *Concentração de carbono e nitrogênio nos três solos estudados nas diferentes áreas.*

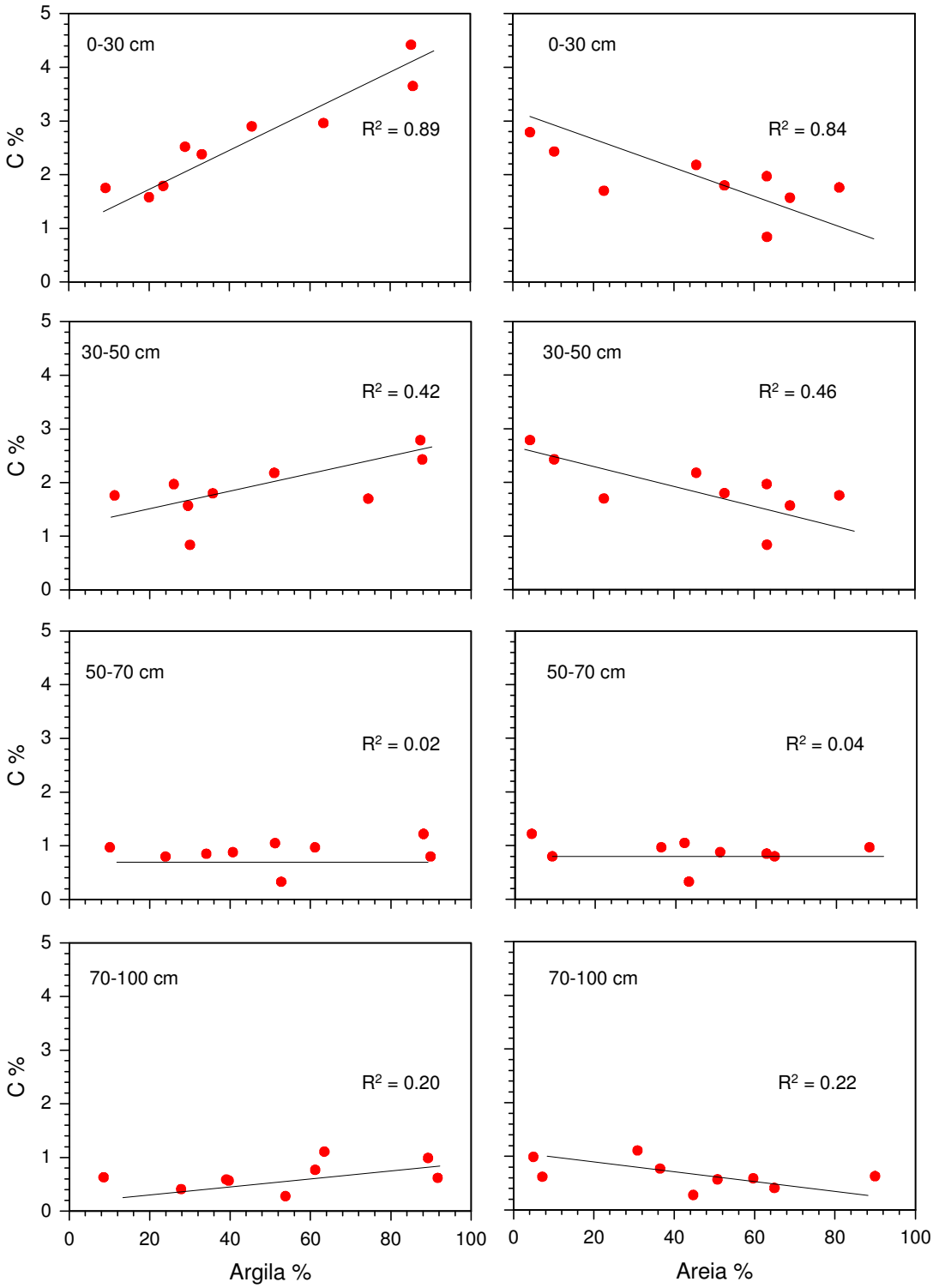


Figura 19. *Relação entre concentração de carbono e textura para todas as áreas de estudo.*

Tabela 3. *Estoque de carbono nos três solos estudados ate a profundidade de 1m nas diferentes áreas*

Áreas de estudo	TP	TM	SA
	……..Mg C/ ha……		
Encontro das Águas	136,92	86,26	161,73
Autaz Mirim	136,68	151,56	178,28
Rio Preto da Eva	75,48	59,05	83,31

4.2.4. Nutrientes na solução do solo

A Figura 20 apresenta valores acumulados de Ca, Mg, K, Na e P na solução do solo. Estes valores representam a somatória das concentrações medias determinados na água dos sistemas de extração da solução do solo (ESS), ao longo do período de estudo (12 meses, 10 coletas). Portanto estes valores representam medias anuais de mobilização de nutrientes na solução do solo.

Em geral, o Na foi o elemento mobilizado em maior quantidade, com exceção das Terras Preta e Mulata do Encontro das Águas, onde o Ca foi o elemento em maior quantidade na solução do solo. Nas demais áreas, Ca aparece como o segundo elemento em quantidade, seguido por K e Mg. Fósforo por sua vez, apresentou valores acumulados muito menores do que os demais nutrientes, em geral sua concentração ficou na ordem de 0 a 0,6 mg/kg (acumulado anual), enquanto que nas Terra Preta e Mulata de Autaz Mirim os valores acumulados de P foram quase indetectáveis. Entretanto concentrações de P na solução do solo das Terras Pretas e Mulata do Encontro das Águas foi ao menos uma ordem de magnitude acima das demais áreas. Em geral, concentrações de elementos nos solos e em solução foram sistematicamente mais altas nas áreas do Encontro das Águas (Figura 16, 17, e 20).

Valores acumulados das diferentes formas de nitrogênio em solução encontram-se na Figura 21. Padrão pode ser observado, onde a mobilização de nitrogênio na solução parece obedecer à ordem EA>ATM>RP (EA 298,9 mg/kg, ATM 97,7 mg/kg e RP 27,0 mg/kg, acumulado das três formas de N em 1 ano). Contudo, se considerados em relação aos tipos de solo, observou-se que as Terras Pretas foram os solos que menos mobilizaram nitrogênio para a solução, com apenas 116 mg/kg ao longo de 1 ano. Os solos adjacentes mobilizaram 131,4 mg/kg enquanto que as Terras Mulatas mobilizaram a maior quantidade de N para a solução, em um total de 176,2 mg/kg.

Seguindo esta mesma linha, houve diferenças significativas nas concentrações de bases dissolvidas que foram mobilizados de Terras Pretas, Mulatas e solos adjacentes. Por exemplo, tomando-se a soma das bases mobilizadas para a solução do solo por cada tipo de solo ao longo do ano (Ca+Mg+K+Na dissolvidos), observou-se que os solos adjacentes tendem a mobilizar menos nutrientes para a solução do solo (94.1 mg/kg) enquanto que Terras mulatas foram as que mobilizaram a maior quantidade de bases (250.8 mg/kg). As Terras Pretas por sua vez, apresentaram altos valores de mobilização de nutrientes, da ordem de 205.8 mg/kg abaixo dos níveis encontrados nas terras mulatas.

Entretanto, quando se considera esta mobilização de bases em relação à quantidade de bases trocáveis nos solos (Figura 22A), observa-se que proporcionalmente os solos adjacentes são os que mobilizam mais bases, ou seja, apesar das concentrações mobilizadas em 1 ano serem comparativamente baixas (94,1 mg/kg), estas representam uma grande fração da reserva de bases trocáveis nestes solos. Por outro lado, as Terras Pretas que apresentaram valores medianos de mobilização de bases (205.8 mg/kg), foram os solos com a menor proporção de mobilização, estando a mesma variando em torno de 10% apenas. As Terras Mulatas por sua vez, apresentam um padrão distinto em relação à mobilização proporcional de bases. A quantidade de bases trocáveis nestes solos e relativamente alta assim como é alta a proporção de bases mobilizadas nestes solos. Em outras palavras, em termos de proporção mobilizada, as Terras Mulatas

se assemelham aos solos Adjacentes, porem em níveis absolutos mobilizados, esta supera consideravelmente os das Terras Pretas (250,8 mg/kg).

Similar analise foi realizada para concentrações de fósforo dissolvido mobilizados de Terras Pretas, Mulatas e solos adjacentes (Figura 22B). Durante o período de estudo, solos adjacentes mobilizaram a menor concentração para a solução do solo (apenas 1.5 mg/kg em 1 ano). Ao contrario do ocorrido com as bases, as Terras Mulatas mobilizaram níveis intermediários de fosfato para a solução do solo (3.3 mg/kg), o que representou aproximadamente a metade do mobilizado pelas terras pretas (6.3 mg/kg). Quanto as proporções relativas a estes níveis de mobilização, estes valores mobilizados chegam a representar 100% dos estoques de P disponível em solos adjacentes, enquanto varia de 1 a 10 % em Terras Preta e Mulata. Terras Pretas foram os solos com menor mobilização proporcional a concentrações de P disponível no solo.

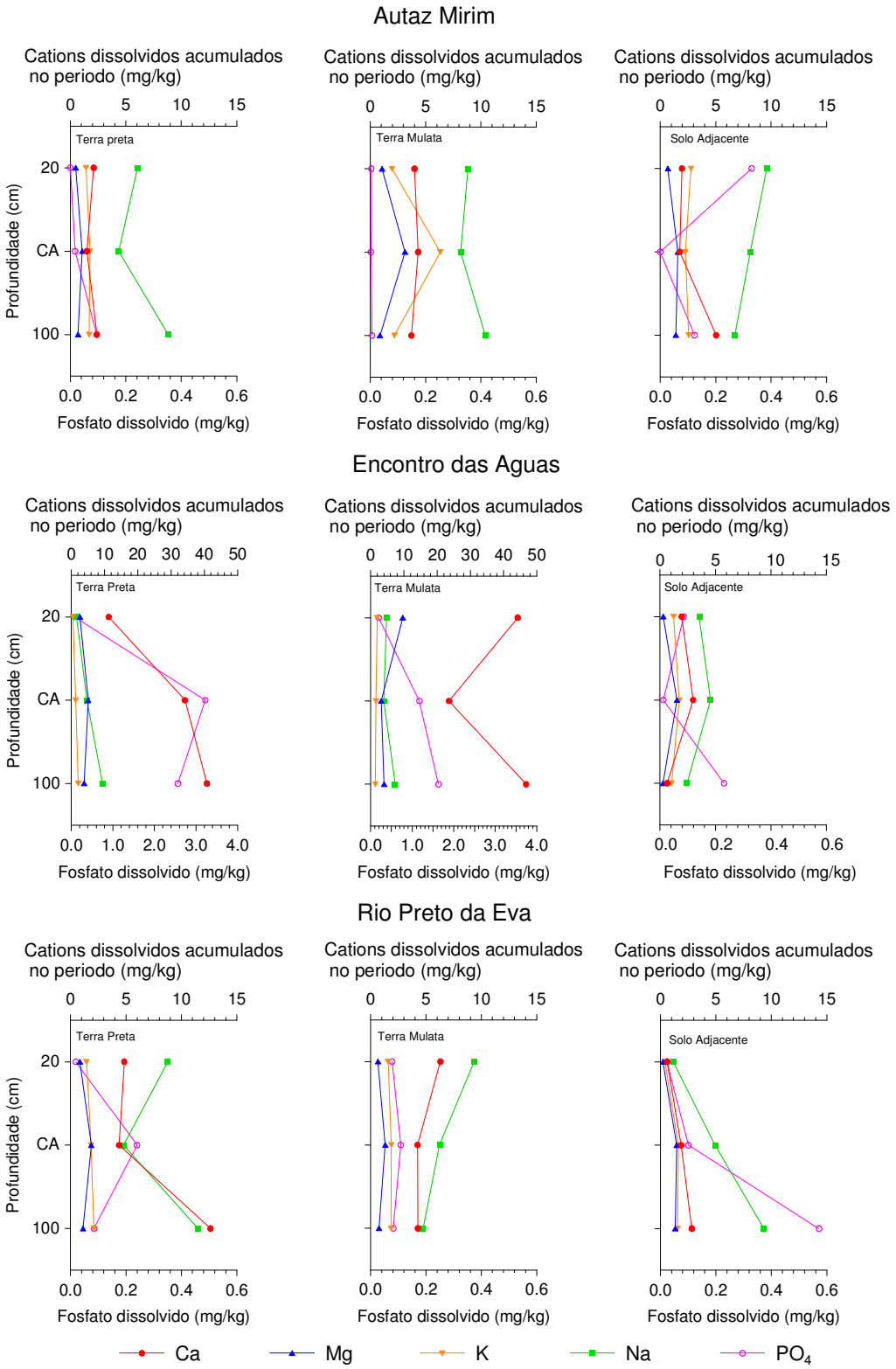


Figura 20. *Macronutrientes na solução do solo ao longo do estudo. Valores acumulados para as três áreas.*

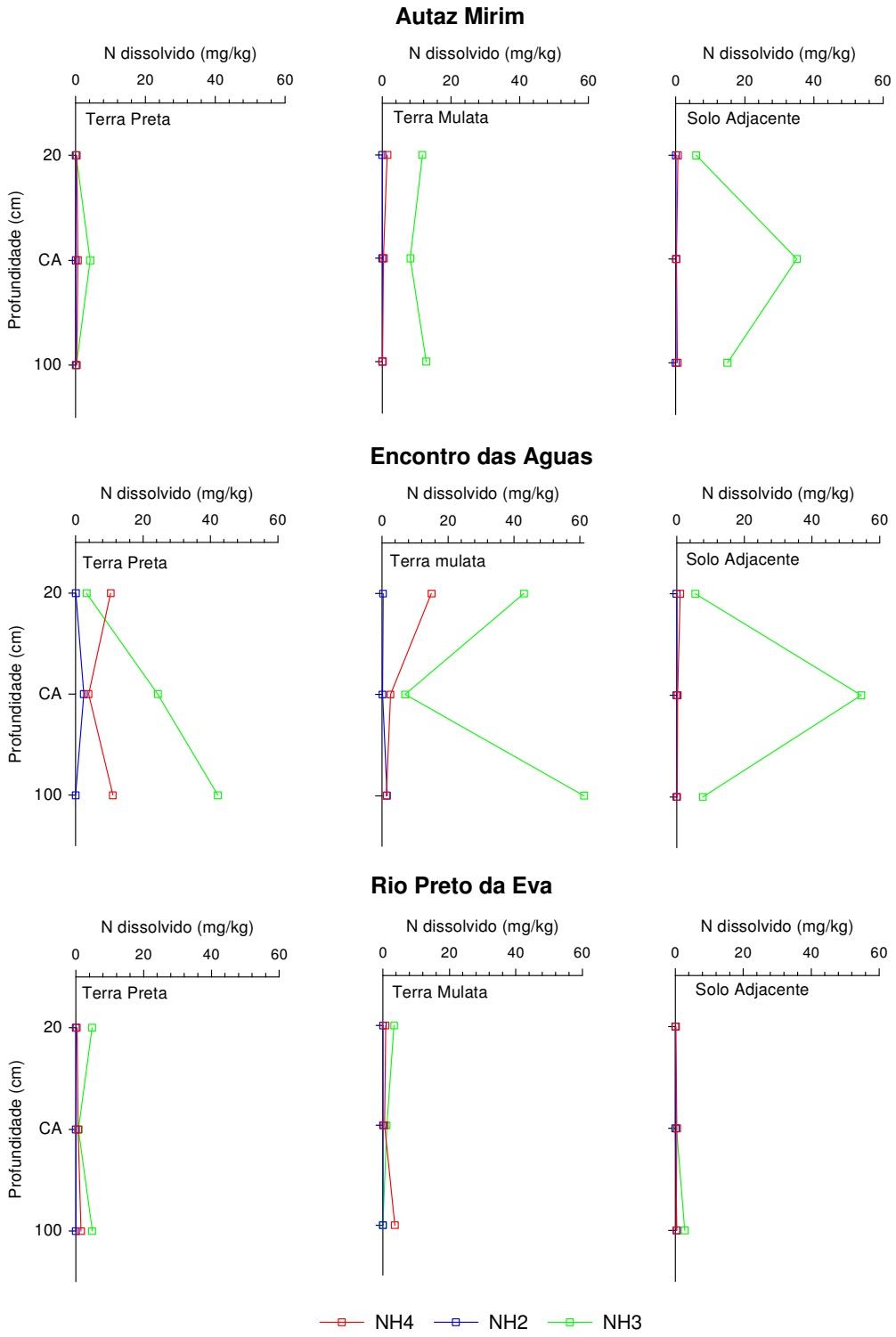
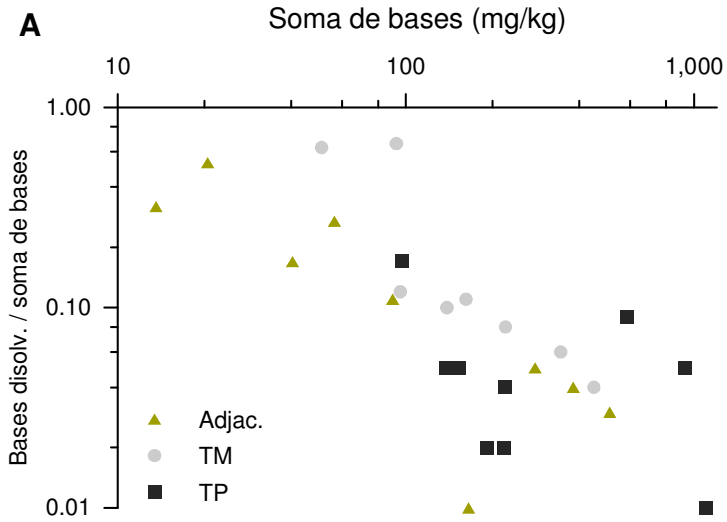
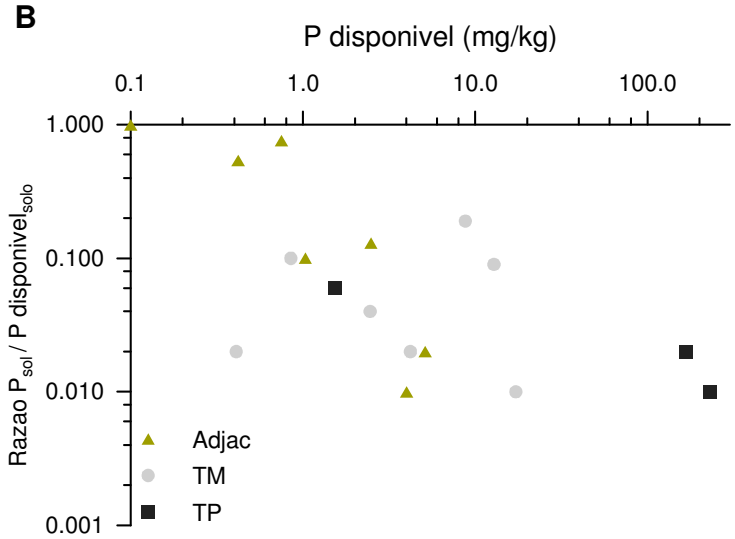


Figura 21. *Formas de nitrogênio na solução do solo ao longo do estudo nos três solos estudados. Valores acumulados.*



Mobiliz. absol. de bases em 1 ano:

Adjc.	94.1 mg/kg
TP	205.8 mg/kg
TM	250.8 mg/kg



Mobiliz. absol. de fosfatos em 1 ano:

Adjc.	1.5 mg/kg
TP	6.3 mg/kg
TM	3.3 mg/kg

Figura 22. *Proporções entre nutrientes dissolvidos e concentrações trocáveis nos solos. (A) bases, (B) fósforo.*

4.2.5. Carbono Orgânico Dissolvido em Solo Antrópicos e Solos Adjacentes

Da variação sazonal do carbono orgânico dissolvido (COD) nas áreas de estudo, enquanto a Tabela 4 apresenta os valores anuais de mobilização de COD, por profundidade. Os valores apresentados na Tabela 4 foram obtidos através do calculo das integrais de cada linha de dados na Figura 23, determinando assim a área de cada uma e, por conseguinte uma melhor estimativa do somatório anual de mobilização de COD. Se calculado os somatórios dos dados, os resultados não poderiam ser comparados diretamente por causa dos dados faltantes em algumas das áreas. Esta falta de dados ocorreu por falta de habilidade dos coletores em extrair solução do solo em algumas datas, devido a potencias de água no solo mais negativos do que os potencias dos extratores. Portanto para fins de comparações entre os tipos de solo, assumiu-se uma linearidade entre área das curvas e COD.

Aparentemente, a quantidade de COD mobilizada durante o período de estudo e o impacto da sazonalidade nestes fluxos varia com o tipo de solo. A mobilização de COD nas Terras Pretas foi à menor entre todos os tipos de solo (COD das Terras Pretas de 463.9, 189.2 e 465.4 mg L^{-1} para ATM, EA e RP, respectivamente). Os mais altos valores mobilizados de COD foram encontrados nos solos adjacentes (COD solos Adjacentes de 623.5, 297.4 e 662.4 mg L^{-1} para ATM, EA e RP, respectivamente), sendo intermediários para as Terras Mulatas (COD Terra Mulata de 510.7, 370.7 e 634.0 mg L^{-1} para ATM, EA e RP, respectivamente).

Além de apresentarem os mais altos valores de COD acumulados durante o ano, os solos adjacentes apresentaram a mais alta variabilidade sazonal, além de que a magnitude dos picos de COD dos solos adjacentes foi mais alta do que nos demais solos na maioria dos casos, mas em especial no EA (Figura 23). As Terras Multas apresentaram características intermediarias quanto à variabilidade sazonal, apresentando considerável variação nos fluxos de COD, principalmente na superfície do solo e a 1 m de profundidade. Em contraste, as Terras Pretas foram os solos que apresentaram os menores valores acumulados de COD e a menor variabilidade sazonal (Tabela 4, Figura 23). Em geral fluxos de COD tenderam a ser menores durante a estação chuvosa, (fim de outubro a inicio de abril) e, por conseguinte

maiores na estação seca (abril a setembro), embora tenha havido alguma variabilidade entre as áreas.

A Figura 24 apresenta valores médios de COD em perfil, para a estação seca e chuvosa. Observa-se que a variação em COD foi predominantemente regional, havendo padrões similares dentro de uma mesma área. A Figura 24 também demonstra com clareza as diferenças de COD entre os diferentes solos. Se traçada uma linha vertical imaginaria na concentração de 20 mg/l de cada gráfico, é possível observar um gradiente de COD na ordem Adjacente > Terra Mulata > Terra Preta. No entanto, apesar dos fluxos aparentarem serem maiores na estação seca (Figura 24), as media de época seca e chuvosa não conseguiram captar esta variabilidade.

Em termos dos fatores que afetam a mobilização de carbono orgânico para a solução, a Figura 25 apresenta a influencia das concentrações de carbono nos solos sobre os fluxos de COD. Em geral observa-se que os valores de COD tendem a decrescer com o aumento da concentração de carbono, porém este efeito ocorre em magnitude diferente nos diferentes tipos de solos, destacando-se as Terras Pretas que apresentaram forte correlação negativa entre mobilização de COD e concentrações de carbono no solo. Entretanto, uma analise estatística envolvendo as variáveis do solo que possivelmente influenciariam a mobilização de COD para a solução, não produziu resultados significantes. A Figura 26 apresenta os resultados de Analise dos Componentes Principais (PCA) envolvendo as variáveis C, argila, Fe, Al e capacidade de troca catiônica (CTC), as quais são rotineiramente atribuídas como fatores passíveis de influenciar os fluxos de COD. Esta analise indicou que fatores como teor de carbono no solo, argila, Al e CTC encontram-se fortemente relacionados uns com os outros no ambiente do solo, porém não ficou evidenciada nenhuma relação com COD além da encontrada com os teores de Fe (R^2 = 0.06). Algumas relações entre COD e concentrações de carbono, argila e Fe, aparecem apenas no eixo PCA3, que explica apenas 18% da variação encontrada. Estes resultados foram confirmados em regressões múltiplas, onde os valores de COD não puderam ser atribuídos satisfatoriamente a nenhum fator edáfico.

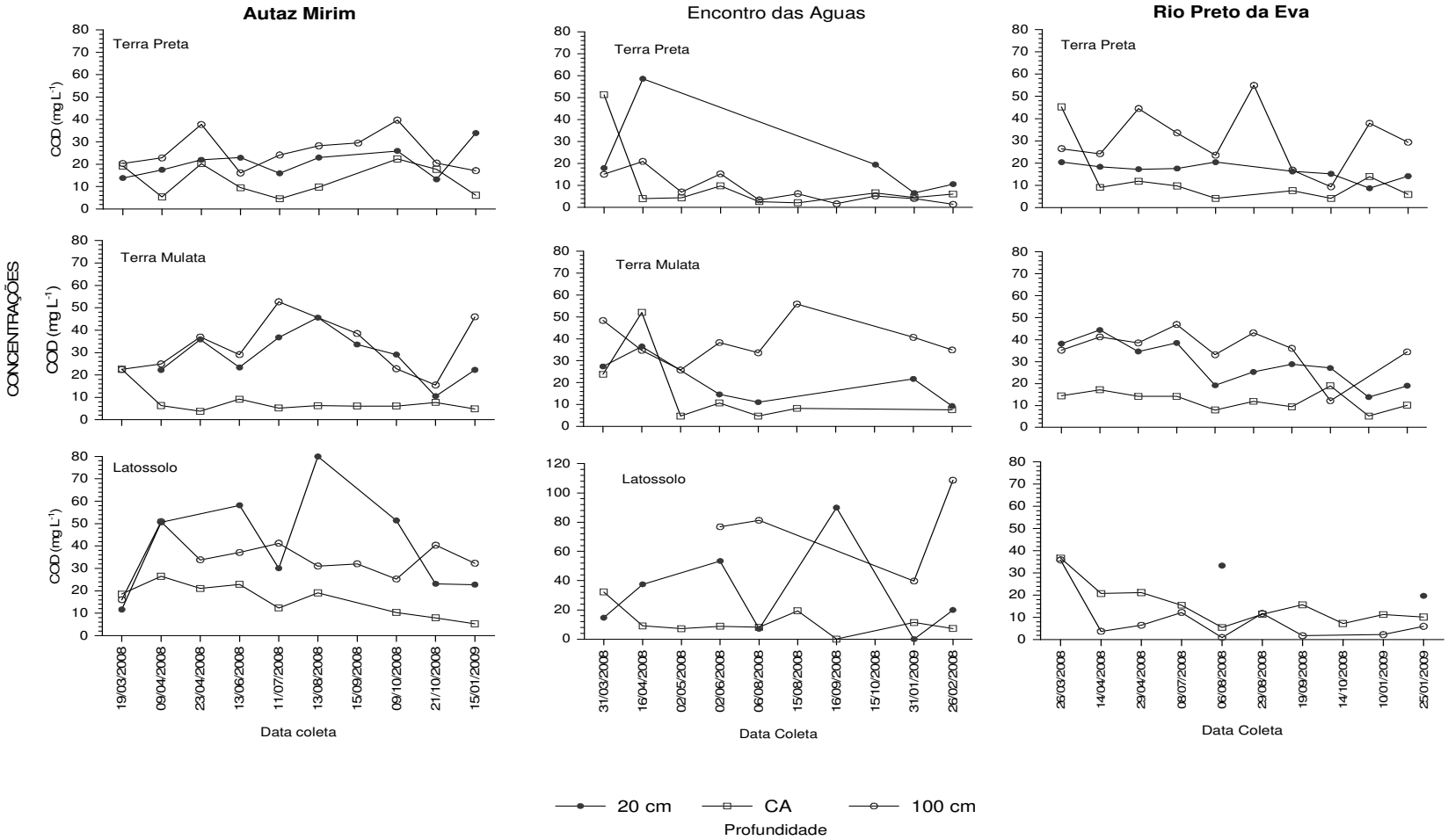


Figura 23. *Concentrações de carbono orgânico dissolvido (COD) até 1 m de profundidade na solução do solo, nos três tipos de solo, nas áreas estudadas (A) ATM, (B) EA e (C) RP.*

Tabela 4. *Áreas das curvas de COD, por profundidade, obtidas calculando integrais dos dados de variação sazonal em COD encontrados na Figura 23.*

		COD (Mg/L)		
Área de estudo	Profundidade	Terra Preta	Terra Mulata	Solo Adjacente
Autaz Mirim	20	140,0	237,1	190,4
	CA	86,3	64,5	117,2
	100	237,3	209,1	315,9
	Total	**463,6**	**510,7**	**623,5**
Encontro das Aguas	20	59,8	60,3	66,3
	CA	58,3	88,3	77,9
	100	71,8	222,2	153,2
	Total	**189,9**	**370,8**	**297,4**
Rio Preto da Eva	20	112,6	260,3	260,3*
	CA	80,1	111,2	132,3
	100	272,7	262,6	270,6
	Total	**465,4**	**634,1**	**663,2**

* assumido mesmo valor da Terra Mulata, pode estar subestimado

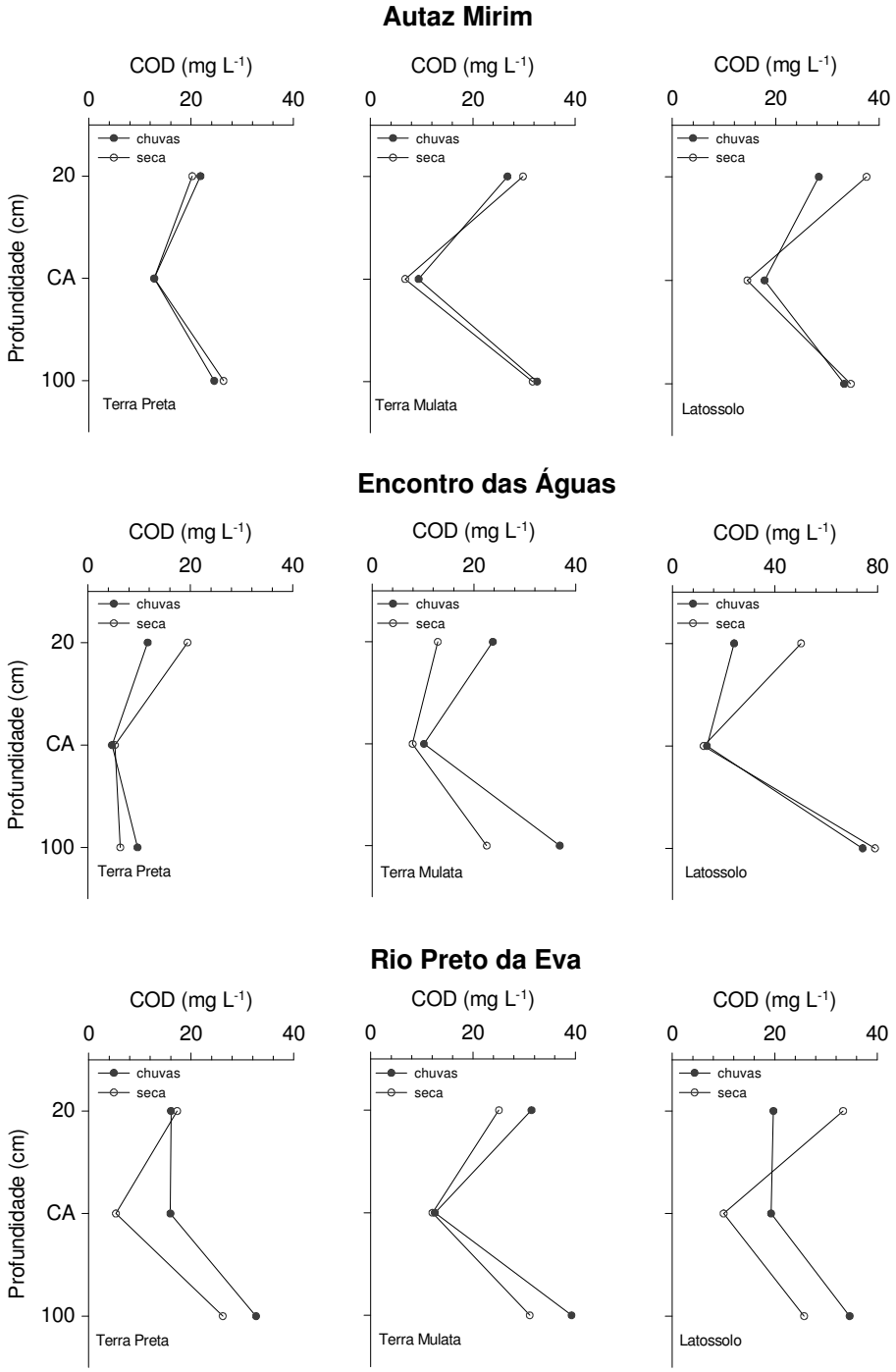


Figura 24. *Concentrações de COD em três profundidades (20 cm, CA: extrator "b", e 100 cm) na solução do solo, nas estações seca e chuvosa nos três tipos de solo, nas áreas estudadas (A) ATM, (B) EA e (C) RP.*

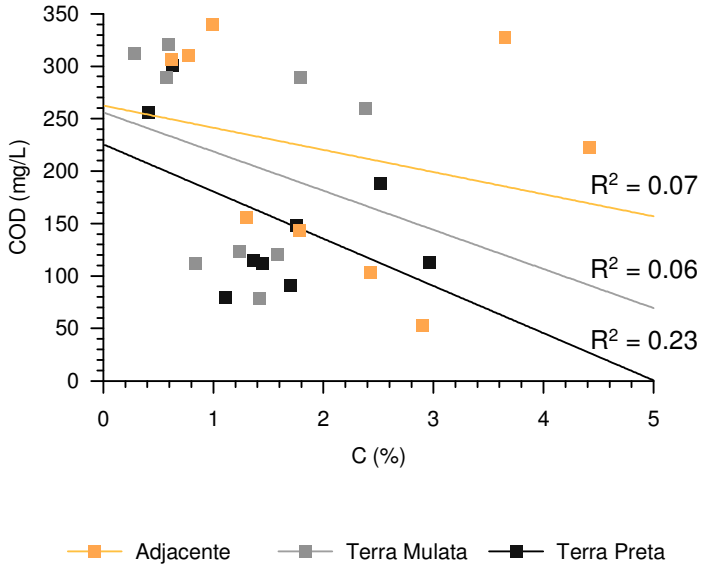
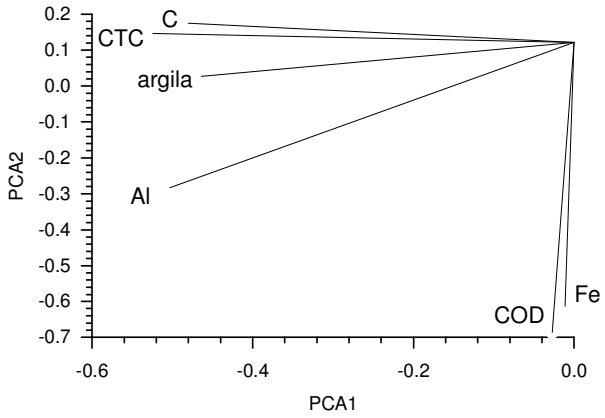


Figura 25. *Relação entre teores de carbono nos solos e mobilização de carbono orgânico dissolvido para as três áreas de estudo.*



	PCA 1	PCA2	PCA3
C	**-0,480**	0,175	**0,442**
COD	-0,027	**-0,687**	**-0,463**
Argila	**-0464**	0,027	**-0,505**
Fe	-0,025	**-0,629**	**0,575**
Al	**-0,503**	-0,283	0,062
CTC	**-0,547**	0,147	-0,020
Prop. explicada	0,450	0,230	0,180
Total 3 eixos	0,857		

Figura 26. *Analise dos componentes principais para variáveis passiveis de influenciar na mobilização do COD.*

5. DISCUSSÃO

Propriedades físicas dos solos estudados

Textura do solo

As características químicas, físicas e morfológicas dos solos antrópicos e adjacentes estudados indicam a quais grupos estes solos pertencem. Os solos adjacentes podem ser classificados com certa segurança como Latossolos devido a sua alta concentração de argila, alta homogeneidade no perfil, presença da estrutura forte e granular alem de suas características químicas típicas de Latossolos. Em revisão recente sobre os solos típicos da Amazônia, Quesada et al. (2009) descreve os Latossolos como possuidores de textura argilosa a muito argilosa (apesar de poderem ser predominantemente arenosos em alguns casos), com transição difusa nos horizontes sub-superficiais, estrutura fortemente desenvolvida, grande estabilidade dos agregados, alta retenção de água no solo e alta condutividade hidráulica e infiltração. No caso dos solos antrópicos chamados aqui de Terra Mulata, aparentemente os solos de Autaz Mirim se desenvolvem sobre um Latossolo enquanto que os solos do Encontro das Águas e Rio Preto parecem ter sido formados sobre Argissolos. Nestes solos observou-se um incremento de argila com o aumento da profundidade, além de valores de densidade aparente aumentando na mesma ordem o que nos permite classificá-los como Argissolos com certa segurança (West *et al.*, 1998). Uma característica que possuem os Argissolos é que a quantidade de argila aumenta com a profundidade, tem maior teor da fração areia nos horizontes superficiais, retenção de água no solo moderada a alta, boa infiltração e condutividade, estrutura fraca a moderada e ligeiramente dura e com maior existência de poros grandes (EMBRAPA, 1999). Então, estes solos podem ser classificados segundo EMBRAPA (1999) como: Latossolo Amarelo distrófico textura muito argilosa, e Argissolo Vermelho-Amarelos distróficos textura argilosa. Enquanto os solos antrópicos do tipo Terra Preta, apresentam comumente uma textura grosseira, com predominância de areia (Kern & Kämpf, 1989; Costa & Kern, 1999).

Em termos da relação de textura e outras propriedades dos solos, observou-se que as concentrações de nutrientes e carbono nos solos estão nitidamente relacionadas com a granulometria. Concentrações de carbono nos solos variaram em função do teor de argila, notadamente nos solos adjacentes, mas também em todos os outros solos (Figura 19). Isto deve estar associado a uma maior superfície especifica nos solos argilosos e conseqüentemente a uma maior adsorção de carbono nos mesmos. A TP de EA apresentou maiores concentrações de cátion trocáveis e Al, o que aparentemente este relacionado com maior concentração de argila. Comparando os três solos adjacentes das áreas estudadas em termos de argila e sua relação com disponibilidade de nutrientes, o solo adjacente de RP, é que possui menor concentração de argila, e menor estoque de nutrientes trocáveis.

Densidade aparente

As áreas de Terra Preta apresentam os mais altos valores de densidade aparente nos sítios estudados. Isto vem em contrario ao que seria inicialmente esperado para solos com altos teores de matéria orgânica como são comuns nos solos antrópicos, os quais são usualmente determinantes de algumas propriedades físicas do solo, entre elas a densidade aparente e a estrutura dos solos. (Teixeira & Martins, 2003).

Aparentemente esta diferencia existente entre a TP e TM e os demais solos adjacentes esta relacionada ao diferente histórico de uso das áreas. Nas três áreas de estudo as TPI foram intensamente exploradas, sendo utilizadas para diversos fins como, por exemplo, exploração madeireira, agricultura e o mais comum, pastagem (detalhes na seção 2.5.). Embora os solos Adjacentes também tenham sido explorados, seu histórico de uso foi menos intenso que nas áreas dos solos com horizontes antrópicos. Além das diferentes usos da terra, observam-se diferenças em algumas áreas: A TP de RP apresenta valores de densidade do solo mais altos que as demais, o que esta relacionada ao seu maior conteúdo de areia (cerca de 600 g kg^{-1} ou 60%, Figura 15), enquanto o solo com horizonte antrópico chamada TM de EA se encontra sobre uma

área típica de Argissolo, que são solos que apresentam incremento de argila com a profundidade (West *et al.,* 1998) o que resulta em diferenças na estrutura do solo.

Nutrientes trocáveis e fósforo

Os teores disponíveis de P e Ca são os que geralmente se apresentam muito diferentes entre as TPI e os solos adjacentes (Lehmann *et al*. 2003a). Estudos mostram que os solos antrópicos (TP e TM), possuem grande diferença nas concentrações de nutrientes em comparação com os solos adjacentes. Entretanto, segundo Lehmann, *et al*. (2003b) as comparações entre solos antrópicos e adjacentes pode não ser bem clara em todas as situações, isto porque é difícil determinar onde o horizonte antrópico termina e quando o solo adjacente começa. Em conjunto com este fator, grandes diferenças texturais e de estoque de matéria orgânica entre os solos que estão sendo comparados podem incrementar ainda mais a diferença ou similaridade entre os solos antrópicos e adjacentes.

Na figura 16 e 17 pode observar-se pouca variação entre as concentrações de nutrientes disponíveis nos perfiz dos solos que em geral são baixos nos solos antrópicos não se diferenciando com os adjacentes (com exceção obvia da TP do Encontro das Águas). Entretanto no que se referem à camada superior do solo, as diferenças de fertilidade foram mais aparentes (Tabela 2), provavelmente por acentuarem-se as diferenças de fertilidade nos horizontes de maior influencia antrópica. Resultados obtidos por Lehmann, *et al*. (2003b), indicam que K, Fe, Zn em Terra Preta não mostram diferença significativa nas concentrações disponíveis e totais em comparação com os solos adjacentes. Entretanto Ca e P se encontram usualmente em maiores concentrações em Terra Preta do em solos adjacentes.

Apesar de uniformemente baixas na maioria dos solos, as concentrações de Ca e Mg encontradas na Terra Preta do EA são muito maiores (Figura 16), o que pode estar relacionado com diferenças no históricos de formação antrópica do solo e uso da área. A TP do EA foi uma pastagem que pode haver recebido algumas formas de adubos como o calcário. Outra possibilidade, ainda que uma suposição, é que tenham ocorrido diferenças quando da preparação da Terra Preta. Em geral Terras Pretas são

campos onde resíduos domésticos e agriculturais foram continuamente depositados por grupos humanos, é de se esperar então que a fertilidade destes solos seja influenciada pela qualidade destes resíduos, que podem variar de uma área para a outra.

Enquanto ao P, este é notavelmente maior nos solos antrópicos comparados com os solos adjacentes. Fatores influenciando o estoque de P nos solos podem incluir maior adição de compostos fosfatados, maiores quantidade de P orgânico armazenado nos horizontes antrópicos e maiores fluxos de P entre as formas orgânicas e inorgânicas de P devido à alta concentração de biomassa microbiana nos solos antrópicos.

Fe e Mn são elementos considerados potencialmente importantes como elementos tóxicos (Lopes, 1980; Van Raij, 1991) uma vez que estes aumentam a solubilidade em solos ácidos, o que os faz ocorrer em maiores concentrações em solos intemperizados (Latossolos) como mostra a Figura 17. O Zn geralmente ocorre em concentrações elevadas nos sedimentos argilosos, enquanto apresentam menor concentração nos arenitos. O Zn esta também diretamente relacionado com o conteúdo de matéria orgânica, já que este é fortemente adsorvido na mesma, o que torna altas concentracoes de Zn uma caracteristica comum as Terras Pretas (Prosad & Pagel, 1970; 1976; Pagel & Prosad, 1975)

Concentração de carbono e Nitrogênio nos solos

Neste estudo observou-se que os solos adjacentes (Latossolos) apresentaram uma maior concentração de C e N do que os demais solos, incluindo os do tipo Terra Preta do Índio. Esta maior quantidade de matéria orgânica esta relacionada com diferenças nos teores de argila, que notoriamente possuem maior superfície especifica, e conseqüentemente mais cargas elétricas capazes de adsorver carbono (Dick *et al*., 2005). Em adição ao conteúdo de argila, espera-se que latossolos argilosos tenham alta concentração de óxidos amorfos de Fe e Al, os quais são importantes fatores controlando a retenção de matéria orgânica nos solos (Mikutta *et al.,* 2006). Com relação ao nitrogênio, em geral, este não é um fator limitante na Amazônia, pois o ciclo de N pode ser considerado aberto em face aos grandes fluxos de gases nitrogenados

(oxido nitroso) e nitrogênio dissolvido em precipitação e solução do solo (Martinelli *et al*., 1999).

As diferenças nas concentrações de carbono entre as áreas foram refletidas nos estoques de carbono calculados para os diferentes solos (Tabela 3). Estes resultados têm uma importante implicação para o manejo de carbono nos solos, que vem sendo atualmente sugerido como uma importante via para a mitigação do efeito estufa (Roscoe, 2006). Muito se fala atualmente do papel das Terras Pretas de Índio em estocar carbono. De certo, muitas lições devem ser aprendidas com as terras pretas, em especial quanto a estabilidade do carbono nestes solos. Porem, este estudo indicou que Latossolos típicos da Amazônia central podem possuir estoques de carbono no solo muito superiores aos de Terra Preta, o que alerta para a necessidade de manejar estas áreas de forma adequada. Por exemplo, florestas nativas sobre Latossolos são muito mais susceptíveis a serem exploradas e convertidas a outros sistemas de uso da terra, o que pode resultar em grande parte deste carbono estocado nos solos retornando para a atmosfera sob forma de dióxido de carbono (20% ou mais dependendo do solo e sistema de manejo, Veldkamp *et al*., 2003). Latossolos também estocam grandes quantidades de carbono em profundidade, devido as suas características físico-químicas (Veldkamp *et al.,* 2003). Em termos de área ocupada, os latossolos também representariam estoques infinitamente superiores do que os de terra preta. Na Amazônia, Latossolos ocupam 2,35 x 10^6 km^2, o que e aproximadamente 33% da área (incluindo-se Brasil e outros países Amazônicos, Quesada *et al.,* 2009). Entretanto, observou-se que a estabilidade do carbono diferiu entre os tipos de solos, com os Latossolos mobilizando mais carbono orgânico dissolvido do que os outros solos. Isto será discutido em mais detalhes na próxima seção.

Nutrientes na solução do solo

Grande maioria dos solos antrópicos possui textura grossa facilitando a percolação de água, mas com a diferença que a lixiviação de nutrientes é muito mais baixa (Lehmann *et al*., 2003b). Segundo esse autor, a lixiviação de nutrientes é controlada pela liberação e adsorção a partir da matéria orgânica que é mineralizada

muito lentamente ou em muito baixa intensidade, suficiente para que seja evitada a excessiva lixiviação.

Na figura 20 observou-se uma tendência do sódio (Na) a ser o elemento de maior concentração na solução em todas as áreas estudadas, o mesmo que foi encontrado por Neu (2005). Entretanto, este padrão é diferenciado na TP e TM de EA, onde o cálcio (Ca) e potássio (K) se encontraram mobilizados em maiores concentrações. Um dos fatores que potencialmente podem influenciar estes resultados é a textura do solo. Ca, K, Na e Mg podem ser retidos pela matriz do solos de forma mais eficiente, comparados com os solos arenosos onde são liberados com maior facilidade (Figura 14). Outra causa da lixiviação preferencial de Na e Ca é que estes são os elementos mais móveis no solo, sendo facilmente adicionados a solução; magnésio (Mg) e potássio (K) também são igualmente moveis, porém estes tendem a se recombinar e formar argilominerais que não são facilmente lixiviados (Thomas, 1974).

O fósforo (P), porém, é mais complexo. P na solução esta em equilíbrio dinâmico com os estoques de P no solo. Portanto o fluxo de P depende muito de quanto P esta armazenado em suas diferentes formas não imediatamente disponíveis no solo, como os P ligados a Ca, Al, Fe (Murmam & Peach, 1969). Assim, a quantidade de P mobilizada para a solução do solo é fortemente controlada pelos estoques de P encontrados em outras formas que nao as medidas neste estudo. Fósforo é também pouco móvel no solo (Smeck, 1973). Por tratar-se de um elemento limitante a produção vegetal nos trópicos (Walker & Syers, 1976), espera-se que o P seja retido eficientemente pela vegetação, especialmente onde este elemento é mais limitante (Jordan & Herrera, 1981).

A Figura 22 (A e B) sugere que os solos estudados mobilizam nutrientes para a solução do solo de forma diferente. Para as bases, nota-se que os solos adjacentes (latossolos), têm baixa concentração de nutrientes no solo, mas em grande parte estes elementos estão disponíveis na solução. As terras pretas por sua vez parecem demonstrar alta estabilidade quanto a mobilização de bases (e fósforo) o que parece estar atribuído a sua estrutura física. Entretanto, observou-se que as terras mulatas possuem in caráter distinto: As mesmas têm alta concentração (relativamente) de

nutrientes no solo, só que liberam grande parte destes nutrientes para a solução. Isto pode estar associado com uma menor estabilidade da matéria orgânica nestes solos, que por sua vez liberaria mais nutrientes. Contudo, mais estudos são necessários para dar suporte a esta idéia.

Carbono orgânico dissolvido (COD)

A quantidade de COD mobilizada durante todo o estudo (somatorio de 10 coletas) varia com o tipo de solos antrópicos e adjacentes de 189,2 a 662,4 $mg.L^{-1}$ respectivamente.

As Terras Pretas, segundo mostrado na Figura 14, apresentam uma textura franca arenosa, em comparação da argilosa dos solos adjacentes. Apesar das TP possuírem esta textura o qual poderia permitir maior lixiviação de nutrientes devido à baixa capacidade de adsorção desses solos, o que impossibilitaria a estabilização do material orgânico e levaria a maior disponibilização de COD para a solução do solo, os solos antrópicos não disponibilizam grandes concentrações de COD na solução quanto comparadas com os liberados nos solos adjacentes (Tabela 4). Isto parece estar associado a uma maior estabilidade do carbono encontrado nestes solos e a uma reabsorção do COD na superfície de adsorção da matéria orgânica destes solos. Em geral, Terras Pretas parecem ser muito estáveis quanto à liberação de C e nutrientes para a solução. Isto tem importantes implicações para o manejo de carbono nos solos, pois a recriação das técnicas usadas para preparação de terras pretas poderia resultar em um grande incremento dos estoques de C nos solos agricultáveis, e, por conseguinte, contribuir para a redução do efeito estufa de forma mensurável. Latossolos foram os solos que mais mobilizaram COD, indicando que apesar de estocarem grande quantidade de carbono, este esta sujeito a uma maior ciclagem no meio ambiente. Quanto à liberação de C para a solução do solo, as terras mulatas mais uma vez apresentaram caráter intermediário, o que mais uma vez sugere uma menor estabilidade da matéria orgânica destes solos quando comparados as Terras Pretas. Isto pode ainda estar associado às formas de carbono encontradas nestes diferentes solos.

Quanto ao efeito das concentrações de C nos solos sobre a mobilização de COD, este fenômeno pode estar relacionado com a ação da superfície especifica da matéria orgânica e sua capacidade de reter e re-adsorver COD. Mais uma vez, as Terras Pretas com sua distinta estrutura físicas, apresentaram maior influencia do C do solo em *reter* COD, sugerindo uma alta capacidade de adsorção nestes solos.

Analises estatísticas conduzidas neste estudo não foram capazes de determinar quais fatores teriam influencia direta sobre os fluxos de COD. Variáveis que são normalmente reportadas como capazes de influenciar taxas de COD não resultaram em relações significativas. Possivelmente, outras variáveis climáticas e edáficas que não foram medidas neste estudo podem ter forte relação com o COD. Precipitação é possivelmente um forte fator, assim como outras variáveis mais complexas do solo, como tipo e proporção das formas de matéria orgânica, tipo e quantidade de óxidos de Fe e Al, mineralogia e atividade microbiana.

Os resultados deste estudo são parcialmente contrários ao apresentado por Neu (2005), que sugere que os valores de COD em solos adjacentes sejam principalmente controlados pelos teores de Fe e Al no solo, tendo uma correlação negativa com eles. Já quanto aos solos antrópicos que possuem baixas concentrações de Fe e Al, o COD na solução do solo é notavelmente mais baixo quando comparadas com os adjacentes. Porem pode-se então afirmar que esta correlação negativa entre o COD e os teores de Fe e Al não é conclusiva e não pode explicar claramente as concentrações de COD disponibilizados na solução do solo.

6. CONCLUSÃO

Durante este estudo, observou-se que as características químicas e físicas dos solos estudados têm forte influencia na mobilização de nutrientes para a solução do solo, bem como para a mobilização de carbono orgânico dissolvido (COD). Os diferentes tipos de solos estudados apresentaram valores contrastantes de COD, o que aparentemente é controlado por fatores diferentes em cada solo. Nos solos adjacentes, teores de argila foram dominantes dos estoques e, por conseguinte dos fluxos de COD enquanto que nos solos com horizontes antrópicos ha um aparente controle da estrutura física do solo sobre os fluxos de COD. Variações temporais de COD também variaram em função destas propriedades, sendo que a mobilização anual de COD foi menor nos solos antrópicos do tipo Terra Preta e muito maior nos solos adjacentes.

Em geral, observou-se que a utilização de parâmetros químicos e físicos para estimar e explicar a mobilização de nutrientes e carbono para a solução do solo é promissora e pode levar ao estabelecimento de funções de pedotransferencia para a determinação de C e nutrientes dissolvidos a partir de outros fatores mais facilmente mensuráveis. Entretanto, para uma analise mais completa dos controles edáficos sobre o COD, seriam necessários estudos mais profundos da estrutura física e química dos mesmos, incluindo um fracionamento da matéria orgânica e identificação da forma química destes compostos, além de uma analise mais completa da mineralogia dos mesmos.

7. BIBLIOGRAFIA

Alvares, V.H.; Fontes, L.E.F.& Fontes, M.P.F. 1996. O solo nos grandes domínios morfo-clímaticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável, Viçosa, UFV, SBCS, DPS, 930 p.

Bechtold, G. 2007. http://www.gerhardbechtold.com/TP/gbtp1_port.php?vers=2

Brinckmann, W.L.F. 1989. System propulsion of Amazonian lowlamd forest: an outline. *Geoderma,* 19: 369-380.

Brown, S. & Lugo, A.E. 1992. Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon. *Interciencia* 17: 8-18.

Chazdon, R.L. & Coe, F.G.,1999. Ethnobotany of woody species in second-growth, old-growth, and selectivity logged forests of northeastern Costa Rica. *Conservation Biology*, 13.

Chambers, J.Q.; Higuchi, N.; Schimel, J.P.; Ferreira, L.V. & Melack, J.M. (2000). Decomposition and carbon cycling of dead trees in tropical forests of the central Amazon. *Oecologia*, 122: 380-388.

Christianson, G.E. 1999. Greenhouse, the story of global warming. Walk Publishing Company, Inc.

Costa, M.L. & Kern, D.C. 1999. Geochemical signatures of tropical soils with archaeological black earth in the Amazon, Brazil. *Journal of Geochemical Exploration,* 66: 369-385.

Cunha, T.J.F. 2005. *Ácidos húmicos de solos escuros da Amazônia (Terra Preta do Índio).* Tese de Doutorado, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro. 139 p.

Denevan, W.M. 2001. Cultivated landscapes of native Amazonia and the Andes. Oxford University Press, Oxford.

Derenne, S. & Largeau, C.A. 2001. A review of some important families of refractory macromolecules: composition, origin, and fate in soils and sediments. Soil Science,166: 833–884.

EMBRAPA. 1991. Características dos principais solos da Amazônia Legal. I Estado do Pará, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo, Rio de Janeiro, 170p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. 1997. Manual de métodos de análises de solo. 2ª edição, Rio de Janeiro, p. 15–18.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1999. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. EMBRAPA - Serviço de Produção de Informação, (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 5), Brasília, Distrito Federal. 412 p.

Ericksson, C. 2003. Historical ecology and future explorations. In: Lehmann J., Kern D., Glaser B. & Woods W. (eds.), Amazonian Dark Earths - origin, properties and management. Kluwer Academics Publisher, Dordrecht, Netherlands. pp. 455-500.

Falesi. I.C. 1972. O estado atual dos conhecimentos sobre os solos da Amazonia brasileira. In: Zoneamento Agrícola da Amazônia (1ª. aproximação). Boletim Técnico 54, IPEAN, Belém.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2005. Global Forest Resources Assessment 2005: progress towards sustainable forest management. FAO Forestry Paper 147.

Fearnside, P.M. 1993. Deforestation in Brasilian Amazonia: the effect of population and lan tenure. *Ambio*, 22:537-545.

Fearnside, P.M.; Graça, P.M.; Leal Filho, N.; Rodrigues, F.J.A. & Robinson, J.M. 1999. Tropical forest burning in Brazilian Amazonian: measurement of biomass loading, burning efficiency, and charcoal formation at Altamira, Pará, Forest Ecology Management 123: 65-79.

Fearnside, P.M. 1999. Biodiversity as am environmental service in Brazil Amazonian forests: risks, value and conservation. *Environmental Conservation*. 26:305-321.

Gavin, M.C. 2004. Changes in forest use value through ecological succession and their implications for land management in the Peruvian Amazon. *Conservation Biology* 18 (6): 1562-1570.

Glaser, B. 1999. Eigenschaften und Stabilität des Humuskörpers der “Indianerschwarzerden” Amazoniens. Bayreuther Bodenkundliche Berichte 68, University of Bayreuth, Germany, 196 p.

Glaser, B.; Balashov, E.; Haumaier, L.; Guggenberger, G. & Zech, W. 2000. Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region. *Organic Geochemistry,* 31: 669-678

Glaser, B.; Haumaier, L.; Guggenberger, G. & Zech, W. 2001. The Terra Preta phenomenon - a model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften*, 88:37–41.

Glaser, B. 2007. Prehistorically modified soils of central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century. Phisolosophical *Transactions of the Royal Society B,* 362: 187-196.

Grace, J., Lloyd, J., McIntyre, J., Miranda, A. C., Meir, P., Miranda, H. S., Nobre, C., Moncrieff, J., Massheder, J., Yadvines, M., Wright, I. & Gash, J. 1995. Carbon dioxide uptake by an undisturbed tropical rain forest in southwest Amazonia, 1992 to 1993. *Science* 270: 778-780.

Hartt, C.F. 1874. Contributions to the geology and physical geography of the lower Amazonas. *Bulletin of the Buffalo Society of Natural Sciences* 1, 201 235.

Hartt, C.F. 1885. Contribuicoes para a ethnologia do valle do Amazonas. *Archivos do Museu Nacional,* 6: 1-174.

Hilbert, P. 1968. Archäologische Untersuchungen am Mittlern Amazonas. Berlin: DietrichReimer Verlag.

INPE, Brasil. 2007 (http://www.inpe.br/noticias/arquivos/prodes_apresentacao_dez_2007.pps).

INPE, Brasil. 2007. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Nota informativa apresentada na Internet (http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=1318).

IPCC, 2007. Mudança do clima 2007: a base das ciências físicas – Contribuição do grupo de trabalho I para o Quarto Relatório de Avaliação do IPCC. No site: www.natbrasil.org.br/Docs/ipcc_2007.pdf

Kampf, N.; Woods, W.; Sombroek, W.; Kern, D. & Cunha, T.J.F. 2003. Classification of Amazonian dark earths and other ancient anthropic soils. In: Lehmann J., Kern D., Glaser B. & Woods W. (eds.), Amazonian Dark Earths - origin, properties and management. Kluwer Academics Publisher, Dordrecht, Netherlands. pp. 77-102.

Kalbitz, K.; Schmerwitz, J.; Schwesig, D. & Matzner, E. 2003. Biodegradation of soil-derived dissolved organic matter as related to its properties. *Geoderma*, 113: 273-291.

Kern, D.C. & Kämpf, N. 1989. Antigos assentamentos indígenas na formação de solos com terra preta arqueológica na região de Oriximiná - Pará. *Revista Brasileira de Ciência do Solo,* 13: 219-225.

Kern, D.C. 1996. Geoquímica e pedogeoquímica de sítios arqueológicos com Terra Preta na floresta Nacional de Caxiauaná. Pará. Tese de doutorado, Universidade Federal do Pará. 98p.

Kern, D.C.; D'Aquino, G.; Rodrigues, T.E.; Frazao, F.J.L.; Sombroek, W.; Myers, T.P. & Neves, E. G. 2003. Distribution of amazonian dark earths in the brazilian amazon. In: Lehmann J., Kern D., Glaser B. & Woods W. (eds.), Amazonian Dark Earths - origin, properties and management. Kluwer Academics Publisher, *Dordrecht, Netherlands*. pp.51-75.

Kern, D.; Costa, M.L. & Frazão, F.J.L. 2004. Evolution of the scientific knowledge regarding archaeological black earths of Amazonia. In: Woods W.I. & Glaser B. (eds.), Explorations in Amazonian Dark Earths. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

Lehmann, J.; Kern, D.; German, I.; McCann, J.; Martins, G. C. & Moreira, A. 2003a. Soilfertility and production potential. In: Lehmann J., Kern D., Glaser B. & Woods W. (eds.), Amazonian Dark Earths - origin, properties and management. Kluwer Academics Publisher, Dordrecht, Netherlands. pp. 105-124.

Lehmann, J.; Silva Jr., J.P.; Steiner, C.; Nehls, T.; Zech, W. & Glaser, B. 2003b. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferrasol

of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. Plant and Soil 249: 343-357.

Lima, H.N.; Schaefer, C.E.R.; Mello, J.W.V.; Gilkes, Robert J.; Ker, J.C. 2002. Pedogenesis and pre-colombian land use of Terra Preta Anthrosols (Indian black earth) of westen Amazonia. *Geoderma* 110: 1-17.

Lima, H.N., Teixeira W.G.; Souza, K.W. 2007. Os solos da paisagem da várzea com ênfase no trecho entre Coari e Manaus. In: Fraxe, T. J. P.; Pereira, H.; Witkoski, A. C. 2007. Comunidades Ameríndias Amazônicas: Modo de vida e uso dos recursos naturais, Manaus, EDUA. 35 – 52 p.

Longo, R.M. & Esoindolo, C.R. 2000. Alterações em características químicas dos solos da região Amazônica pela introdução de pastagem, *Acta Amazonica*, Manaus,30: 71–80.

Luizão, F.J. & Schubart, H.O. 1987. Litter productions and decomposition in a terra firme of central Amazonian. *Experientia* 43:259-265 p.

Madari, B.E.; Sombroek, W. & Woods, W. 2004. Research on anthropogenic dark earth soils. Could it be a solution for sustainable agricultural development in the Amazon? In: W. I. Woods & B. Glaser (eds.), Explorations in Amazonian Dark Earths. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

Mann, C. C. 2002. The real dirt on rainforest fertility. *Science*, V. 29, p. 922 – 923.

McCann, J.M. Woods, W.I. & Meyer, D.W. 2001. Organic matter and Anthrosols in Amazonia: interpreting the Amerindian legacy. In: R.M. Rees, B.C. Ball, C.D. Campbell, & C.A. Watson (Eds.), Sustainable Management of Soil Organic Matter. Wallingford: CAB International. pp.180-189.

McClain, M.E.; Richey, J.E.; Brandes, J.A. & Pimentel, T.P. 1997. Dissolved organic matter and terrestrial lotic linkages in the central Amazon basin of Brazil. *Global Biogeochemical cycles*, 11(3): 295-311.

Meirelles Filho, J. 2004. O livro de ouro da Amazônia, Rio de Janeiro, *Ediouro*, 397 pp.

Miller, E.T. 1992. Arqueologia nos Empreendimentos Hidrelétricos da Eletronorte: resultados preliminares. Brasília: Eletronorte.

Mikutta, R.; Kleber, M.; Torn, M.S. & Jahn, R. 2006. Stabilization of soil organic matter: association with minerals or chemical recalcitrance? biogeochemistry 77: 25–56

Murrmann, R.P. & Peech, M. 1969. Effect of pH on labile and soluble phosphate in soils. *Soil Science Society of America* **33:** 205-210.

Neves, E.G.; Petersen J.B.; Bartone, R.N. & Silva C.A. 2003. Historical and socio-cultural origins of Amazonian Dark Earths. In: Lehmann, J.; Kern, D.C.; Glaser, B. & Woods, W.I. (eds.) Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management. Kluwer Academic Publishers, *The Netherlands*, pp. 29-49.

Neu, V. 2005. Influencia da cobertura vegetal na ciclagem de nutrientes via solução do solo na região de Manaus-AM. Dissertação de mestrado, ESALQ, piracicaba, 93 p. Il.

Pagel, H. & Prasad, R.N. 1975. Comparative investigations into the content of available copper in soils of the arid and humid tropics. *Beitr. Trop. Landwirtsch. Veterinaermed* **13**: 399-407.

Pereira, L.C. 1987. Características químicas de Latossolos Amarelos da Região Amazônica Brasileira, Piracicaba, ESALQ, tese de mestrado, 96 p.

Phillips, O.; Malhi, Y.; Higuchi, N.; Grace, J.; Laurence, W. F. ; Nuñes, P. ; Vasquez, R. ; Laurence, S.G. ; Ferreira, L.V. ; Stern, M. & Brown, S. 1998. Changes in the carbon balance of tropical forest: evidence from long-term plot data. *Science,* 282: 43–442.

Prasad, R.N. & Pagel, H. 1970. Available zinc in important soils of the arid and humid tropics. *Beitr. Trop. Landwirtsch. Veterinaermed* **8**: 145-156.

Prasad, R.N. & Pagel, H. 1976. Comparative investigations into the content of available molybdenum in important soils of the arid and humid tropics. *Beitr. Trop. Landwirtsch. Veterinaermed* **14**: 79-87.

Quesada, C.A. Lloyd, J.; Anderson, L.O.; Fyllas, N.M. Schwarz, M. & Czimczik, C. 2009. Soils of Amazonia with particular reference to the RAINFOR sites. *Biogeosciences Discuss.*, 6, 3851–3921.

Raich, J.W.; Potter, C.S. & Bhagawati, D. 2002. Interanual variability in global soil respiration 1980-94. *Global Change Biology,* 8, 800-812.

Ranzani, G.; Kinjo, T. & Freire, 1962, Ocorrências de Plaggen Epipedon no Brasil. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. *Boletim Técnico*, 5: 1-12.

Roosevelt, A.C. 1987. Chiefdoms in the Amazon and Orinoco. In: R.D. Drennan, & C.A.Uribe (Eds.), Chiefdoms in the Americas. Lanham, MD. *University Press of America*.pp. 153-185.

Roscoe, R. 2006. Seqüestro de carbono no sistema plantio direto: Possibilidades de contabilização. In: Roscoe, R.; Mercante, F. M. & Salton, J. C. Dinâmica da matéria organic do solo em sistemas conservacionistas. EMBRAPA – MS, p. 43 – 60.

Salati, E. & Vose, P.B. 1984. Amazon basin: a system in equilibrium. *Science*. 255: 129-138.

Seiler W. & Crutzen P.J. 1980. Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning. *Climate Change*, 2: 207-247.

Sioli, H. 1991. Amazônia. Fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais. *Vozes*, Petrópolis, 3a ed. 72 p.

Silva, F.C. 1999. Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia. Manual de análises químicas de solo, planta e fertilizantes. Brasília, DF. 370 p.

Skole, D. & Tucker. 1993. Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: Satellite data from 1978 to 1988. *Science* 260:1905-09.

Smeck, N.E. 1973. Phosphorus: An indicator of pedogenetic weathering processes. *Soil Science* **115:** 199-206.

Smith, N.J.H. 1980. Anthrosols and human carrying capacity in Amazonia. *Annals of the Association of American Geographers,* 70: 553-566.

Sombroek, W. 1966. Amazon Soils – a reconnaissance of soils of the Brazilian Amazon region. Centre for Agricultural Publications and Documentation, Wageningen, *Netherlands*, 292 p.

Sombroek, W.G.; Nachtergaele, F.O. & Hebel, A. 1993. Amounts, dynamics and sequestering of carbon in tropical and subtropical soils. *Ambio*, 22: 417-426.

Teixeira, L.B. & Bastos, J.B. 1989. Nutrientes no solo de floresta primária e pastagem de *Brachiaria humidicola* na Amazônia central. Embrapa _CPATU. 286 p.

Teixeira, W.G.; Martins G.C. & Lima, H.N. 2004. An Amazonian Dark Earth profile description from a site located in the floodplain (várzea) in the Brazilian. In: Congresso de Arqueologia en Colombia, Papayan.

The Green Initiative. 2006. Neutralização das emissões de gases de efeito estufa. Artigo mostrado na Internet: http://www.thegreeninitiative.com/files/pdf/premio%20eco_doc_pt.pdf

Thomas, M.F. 1974 *Tropical Geomorphology*. The McMillan Press, London, 331pp.

Thurman, E.M. 1985. Organic geochemistry of natural watters. Dordrecht: Martinus Nijho FF, V. 2, 497 p.

Veldkanp, E; Becker, A.; Schwendenmann, L.; Clark, D.A. & Schulte-Bisping, H. 2003. Substantial labile carbon stocks and microbial activity in deeply weathered soils below a tropical wet forest. *Global Change Biology* 9, 1171–1184.

Walker, T.W. & Syers, J.K. 1976. The fate of phosphorus during pedogenesis. *Geoderma* **15:** 1-19.

West, L.T. Beinroth, F.H., Summer, M.F. & Kang, B.T. 1998. Ultisols: characteristics and impacts on society. *Advances in Agronomy* **63**: 179-236

Whitmore, T.C. 1997. Tropical Forest disturbance, disappearance and species loss. In: Lawrance, W. F.; Bierregard JR. R. O. (Ed) Tropical forest remnants: ecology, management and conservation of fragmentation communities Chicago. The University of Chicago. p. 3 – 12.

Woods, W.I., & McCann, J.M. 1999. Anthropogenic origin and persistence of Amazonian dark earths. Yearbook, *Conference of Latin Americanist Geographers 25,* 7-14.

Woods, W.I. & McCann, J.M. 2001. *El origen y persistencia de las tierras negras de la Amazonía In*: Hiraoka, M.; Mora, S. (Eds). *Desarrollo Sostentible en la Amazonía*, Abya Ayala, Quito, Ecuador. p. 23-30.

Woods, W.I. 2003. Development of anthrosols research. In: Lehmanm, J.; Kern, D. C.; Glaser, B. & Woods, W.I. (Eds). Amazonian dark earths: Origin, properties and management. Kluver Academic Publishers. *The Netherlands*. 493 p.

Zech, W.; Haumaier, L. & Hempfling, R. 1990. Ecological aspects of soil organic matter in tropical land use. In: McCarthy P., Clapp, C.E. Malcolm, R.L.; Bloom, P.R. (eds) Humic substances in soil and crop sciences. Selected readings. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison Wis. USA. Pp. 187–202.

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo