

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

INTERFERÊNCIA DE SISTEMAS DE MANEJO NA FLORESTA NACIONAL DE  
CAXIUANÃ, PA NOS ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS E NA COMPOSIÇÃO  
ISOTÓPICA DE SOLO ANTROPIZADO

**ROSA DE NAZARÉ PAES DA SILVA**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu,  
para obtenção do título de Doutor em Agronomia  
(Agricultura).

BOTUCATU – SP  
Setembro– 2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

INTERFERÊNCIA DE SISTEMAS DE MANEJO NA FLORESTA NACIONAL DE  
CAXIUANÃ, PA NOS ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS E NA COMPOSIÇÃO  
ISOTÓPICA DE SOLO ANTROPIZADO

**ROSA DE NAZARÉ PAES DA SILVA**

Orientador: Prof. DSc. Dirceu Maximino Fernandes

Co orientador: Dsc. Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu,  
para obtenção do título de Doutor em Agronomia  
(Agricultura).

BOTUCATU – SP  
Setembro - 2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO -  
SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA  
- LAGEADO - BOTUCATU (SP)

S586i Silva, Rosa de Nazaré Paes da, 1974-  
Interferência de sistemas de manejo na floresta nacional de Caxiuanã,  
PA nos atributos físicos e na composição isotópica de solo antropizado/  
Rosa de Nazaré Paes da Silva. - Botucatu : [s.n.], 2013 110 f.:Il.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências  
Agonômicas, Botucatu, 2013  
Orientador: Dirceu Maximino Fernandes  
Inclui bibliografia

1. Solos - Fertilidade. 2. Isótopos Estáveis. 3. Floresta Nacional de Caxiuanã - Pará - Ecossistemas. 4. Solo adequado para agricultura. 5. Terra Preta  
I. Fernandes, Dirceu Maximino. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU  
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "INTERFERÊNCIA DE SISTEMAS DE MANEJO NA FLORESTA NACIONAL DE CAXIUANÁ - PA NOS ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS E NA COMPOSIÇÃO ISOTÓPICA DE SOLOS ANTROPIZADOS "

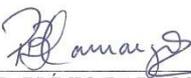
ALUNA: ROSA DE NAZARÉ PAES DA SILVA

ORIENTADOR: PROF. DR. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES

Aprovado pela Comissão Examinadora

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. IRAE AMARAL GUERRINI

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. PLÍNIO BARBOSA DE CAMARGO

  
\_\_\_\_\_  
PROF<sup>ª</sup> DR<sup>ª</sup> MARIA HELENA MORAES

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. JAMIL CHAAR EL-HUSNY

Data da Realização: 11 de setembro de 2013.

***Dedico******À Deus***

*“... Grandes coisas fez o Senhor por nós; por isso estamos alegres. Restaura Senhor a nossa sorte,... Os que com lágrimas semeiam com júbilo ceifarão. Quem sai andando e chorando, enquanto semeia, voltará com júbilo, trazendo seus feixes” Salmo 126*

***Ofereço***

*Para aquele que me faz perder o juízo e que somente em seus braços encontro: aconchego,  
inspiração e segurança!*

*Agradeco*

À **Deus** pelo dom precioso da vida, pela fé, pelo desafio, pela provisão dos recursos financeiros e pela vitória conquistada;

Ao **DSc. Plínio Barbosa de Camargo** (CENA/USP), pela inspiração, aconchego, segurança, companheirismo em campo, aprendizado e a “descoberta do fascinante mundo dos isótopos estáveis e seus personagens”;

À minha **mamãe Maria Paes** por me amar incondicionalmente, pelo ensino, e por respeitar as minhas escolhas;

Ao **DSc. Dirceu Maximino Fernandes** (UNESP /FCA), meu estimado orientador, por aceitar a complexa missão em me orientar;

Ao meu **papai Sérgio Silva**, in memoriam;

Ao meu **irmão Sérgio**, minha **cunhada Flávia** e minha querida sobrinha **Estela Paes**;

Ao **DSc. Jamil Chaar El Husny** (EMBRAPA – CPATU), amigo no qual encontrei referência para escrever essa tese e por participar da banca de avaliação;

À **DSc. Sônia Botelho** (EMBRAPA – CPATU), pelo apoio incondicional nas análises químicas e físicas;

Ao **DSc. Moacir Valente** (EMBRAPA-CPATU), pela paciência, gentileza e ensino durante os ajustes na descrição e classificação dos solos;

Ao **Emerson, Daniel, Viviam, Larissa, Marta, Silvia, Leticia e Camila** (UNESP – FCA/ Departamento da Ciência do Solo), “galera tudo é relativo”;

Ao **Eden, Antônio, Maria José, Isaías, Francisco e Souza** (EMBRAPA – CPATU), técnicos do Laboratório de Análise de Solos e Tecidos Vegetais;

Ao **DSc. Luiz Martinelli, DSc. Marcelo Z. Moreira, Toninha, Natássia, Guilherme, Fabiana, Heráclito, Luciana, Elizete e Roberta** (Laboratório de Ecologia Isotópica - CENA/ USP), obrigada pela atenção e acolhida durante a minha permanência em Piracicaba;

Ao **Msc. Edmar Mazzi** (CENA/USP) pela amizade e companheirismo em campo;

Ao **DSc. Edilson Matos** (UFRA), visionário e mentor intelectual deste DINTER;

Ao **DSc. Raimundo Cosme de Oliveira Junior** (EMBRAPA – STM), obrigada pela sincera amizade;

Ao **MSc. Antônio Carlos Lobo Soares** (Museólogo do MPEG), pela sincera amizade, ensino, apoio e respeito;

Ao **DSc. José Gama** (UEMA), pela amizade e colaboração na classificação dos solos;  
Ao **DSc. João Domingos (Mingo)** (UNESP – Botucatu), pelo ensino, exemplo de vida  
e persistência;  
À **Tathiana Chaves**, analista ambiental (ICMBIO - Estação Ecológica Terra do Meio),  
pela amizade e compreensão durante a fase final deste doutorado;  
Ao **amigo Marcelo Siqueira** (Tecnólogo em Agronegócio) pela elaboração dos mapas  
de Caxiuanã;  
Ao **Thiago Rocha** (Engenheiro Florestal), mesmo distante atendia aos meus inúmeros  
pedidos;  
Ao **DSc. Vicente Savanotti**, Coordenador do DINTER (UFRA);  
Ao **DSc. Rogério Soratto**, Coordenador da Pós Graduação (UNESP / Botucatu);  
À **Kelly, Amanda e Gabriela**, obrigada pela morada e aprendizagem durante minha  
breve e saudosa passagem por Botucatu.

*“Ora, a fé e o firme fundamento das coisas que se esperam, e a prova das coisas que não  
se vêem” Hebreus 11.1*

## SUMÁRIO

|   | Página |
|---|--------|
| LISTA DE FIGURAS.....   | IX     |
| LISTA DE TABELAS.....   | XII    |
| LISTA DE ABREVIATURAS.....  | XIV    |
| 1.RESUMO.....   | XVI    |
| 2.SUMMARY .....   | XVII   |
| 3. INTRODUÇÃO.....  | 18     |
| 4. REVISÃO DE LITERATURA .....  | 20     |
| 4.1. Os solos de ocorrência em Caxiuanã e a formação dos solos antropizados.....  | 20     |
| 4.2. A agricultura itinerante e uso agrícola da Terra Preta de Índio....  | 25     |
| 4.3. Atributos físicos e químicos da Terra Preta de Índio.....  | 27     |
| 4.4. Estoque de carbono no solo e relação C/N   | 30     |
| 4.5. Concentrações de C e N e determinação isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$   | 31     |
| 5. MATERIAL E MÉTODOS .....   | 34     |
| 5.1. Área de estudo .....   | 34     |
| 5.2. Classificação taxonômica, análises físicas e químicas dos solos das áreas de estudo.....   | 35     |
| 5.2.1. Argissolo Amarelo hipereutrófico antropogênico sob Floresta Secundária.....  | 36     |
| 5.2.2. Argissolo Amarelo hipereutrófico típico sob Capoeira .....   | 39     |
| 5.2.3. Argissolo Amarelo epimesodistrófico abruptico sob Roça .....   | 41     |
| 5.3. Coleta, preparo e análise de amostras de solo da área de estudo na FLONA de Caxiuanã.....  | 43     |
| 5.3.1. Atributo físico – Granulometria .....  | 43     |
| 5.3.2. Estoque de carbono .....   | 44     |
| 5.3.3. Determinação isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ , concentrações de N e C total .....   | 44     |
| 5.3.4. Atributos químicos para parâmetro de fertilidade.....  | 46     |
| 5.4. Delineamento experimental e análise estatística .....  | 46     |
| 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....   | 49     |
| 6.1. Atributo físico do solo – Análise granulométrica .....   | 49     |
| 6.2. Matéria orgânica do Solo (MOS) .....   | 56     |
| 6.3. Teor de C e N total, determinação isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ estáveis, concentrações de carbono, estoque de carbono e relação C/N..... | 59     |
| 6.3.1. Teor de carbono total e $\delta^{13}\text{C}$ (‰) .....  | 60     |
| 6.3.2. Teor de nitrogênio total e $\delta^{15}\text{N}$ (‰).....  | 62     |
| 6.3.3. Estoque de carbono .....   | 66     |
| 6.3.4. Relação C/N.....   | 68     |
| 6.4. Atributos químicos para parâmetro de fertilidade do solo.....  | 71     |
| 6.4.1. Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) .....   | 71     |
| 6.4.2. Sódio (Na).....  | 79     |
| 6.4.3. Boro (B), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Zinco (Zn).....  | 81     |
| 6.4.4. Acidez ativa (pH).....   | 87     |

|  |     |
|--|-----|
| 6.4.5. Soma de base (SB), Acidez total a pH 7,0 (H +Al) e Acidez trocável<br>(Al <sup>+3</sup> ) ..... | 90  |
| 6.4.6. CTC e CTC efetiva .....   | 94  |
| 6.4.7. Saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%).....                                     | 98  |
| 7. CONCLUSÃO.....  | 101 |
| 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....  | 102 |

## LISTA DE FIGURAS

| Figura |   | Página |
|--------|---|--------|
| 1      | Floresta Nacional de Caxiuanã - Estado do Pará .....  | 35     |
| 2      | Argissolo Amarelo hipereutrófico antropogênico, textura arenosa/média, A antrópico, Floresta Equatorial Subperenifólia, relevo plano, sob Floresta Secundária .....   | 37     |
| 3      | Argissolo Amarelo hipereutrófico típico, textura média/argilosa, A proeminente, Floresta Equatorial Subperenifólia, relevo plano, sob Capoeira em pouso de 4 anos .....   | 39     |
| 4      | Argissolo Amarelo Epimesodistrófico abruptico, textura arenosa/ argilosa, A moderado, floresta Equatorial Subperenifólia, relevo plano, sob Roçado ativo  | 41     |
| 5      | Delineamento experimental .....   | 47     |
| 6      | Parcelas dentro do sistema de manejo .....  | 48     |
| 7      | Teor de areia (a), silte (b) e argila (c) ( $\text{g kg}^{-1}$ ) em Terras Preta de Índio formada sobre: Argissolo Amarelo sob Floresta Secundária (TPI/ARGI FS); Argissolo Amarelo sob Capoeira (ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob Roça (ARGI RÇ), na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA .....   | 50     |
| 8      | Teor de areia (a), silte (b) e argila (c) ( $\text{g kg}^{-1}$ ) na camada da profundidade efetiva do solo em Terras Preta de Índio formada sobre: Argissolo Amarelo sob Floresta Secundária (TPI/ARGI FS); Argissolo Amarelo sob Capoeira (ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob Roça (ARGI RÇ), na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA .....   | 53     |
| 9      | Teor de areia (a), silte (b) e argila (c) ( $\text{g kg}^{-1}$ ) em função da camada da profundidade efetiva do solo e da área em Terras Preta de Índio formada sobre: Argissolo Amarelo sob Floresta Secundária (TPI/ARGI FS), Argissolo Amarelo sob Capoeira ( ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob Roça (ARGI RÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã,PA .....  | 54     |
| 10     | Teor de matéria orgânica ( $\text{g kg}^{-1}$ ) em sistemas de manejo (a), na camada de profundidade efetiva do solo (b) e em função dos sistemas de manejo e nas camadas de profundidade efetiva do solo em Terras Preta de Índio formada sobre: Argissolo Amarelo sob Floresta Secundária (TPI/ARGI FS); Argissolo Amarelo sob Capoeira (ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob Roça (ARGI RÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA ..... | 57     |
| 11     | Composição isotópica de C ( $\delta^{13}\text{C} \text{‰}$ ) em sistemas de manejo (a) e na camada da profundidade efetiva do solo (b) em Terras Preta de Índio formada sobre: Argissolo Amarelo sob Floresta Secundária (TPI/ARGI FS); Argissolo Amarelo sob Capoeira (ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob Roça (ARGI RÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA .....  | 61     |
| 12     | Teores de N totais ( $\text{g kg}^{-1}$ ) (a) e composição isotópica de N ( $\delta^{15}\text{N} \text{‰}$ ) (b) em sistemas de manejo (a) e na camada da profundidade efetiva do solo (b) em Terras Preta de Índio formada sobre: Argissolo Amarelo sob Floresta Secundária (TPI/ARGI FS); Argissolo Amarelo sob Capoeira (ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob Roça (ARGI RÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA .....                | 63     |
| 13     | Teores de N totais ( $\text{g kg}^{-1}$ ) (a) e composição isotópica de N ( $\delta^{15}\text{N} \text{‰}$ ) (b) em sistemas de manejo (a) e na camada da profundidade efetiva do solo (b) em Terras Preta de Índio formada sobre: Argissolo Amarelo sob Floresta Secundária (TPI/ARGI FS); Argissolo Amarelo sob Capoeira (ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob Roça (ARGI RÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã,                         |        |

|    |  |    |
|----|--|----|
|    | PA .....   | 65 |
| 14 | Estoque de Carbono ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) em sistemas de manejo (a) em Terras Preta de Índio formada sobre: Argissolo Amarelo sob Floresta Secundária (TPI/ARGI FS); Argissolo Amarelo sob Capoeira (ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob Roça (ARGI RÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA .....   | 66 |
| 15 | Relação C/N na camada da profundidade efetiva do solo em Terras Preta de Índio formada sobre: Argissolo Amarelo sob Floresta Secundária (TPI/ARGI FS); Argissolo Amarelo sob Capoeira (ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob Roça (ARGI RÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA .....  | 69 |
| 16 | Teor de fósforo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) (a), potássio, cálcio e magnésio ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) (b) em sistemas de manejo em Terras Preta de Índio formada sobre: Argissolo Amarelo sob Floresta Secundária (TPI/ARGI FS); Argissolo Amarelo sob Capoeira (ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob Roça (ARGI RÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA .....      | 72 |
| 17 | Teores de potássio, cálcio e magnésio ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) na camada da profundidade efetiva de solo e em sistemas de manejo em Terras Preta de Índio formada sobre: Argissolo Amarelo sob Floresta Secundária (TPI/ARGI FS); Argissolo Amarelo sob Capoeira (ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob Roça (ARGI RÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA ..... | 78 |
| 18 | Teor de magnésio ( $\text{cm}_c \text{dm}^{-3}$ ) em função da camada da profundidade efetiva do solo e em sistemas de manejo, em Terras Preta de Índio formada sobre: Argissolo Amarelo sob Floresta Secundária (TPI/ARGI FS); Argissolo Amarelo sob Capoeira (ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob Roça (ARGI RÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA .....             | 78 |
| 19 | Teor de sódio ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) em sistemas de manejo em Terras Preta de Índio formada sobre: Argissolo Amarelo sob Floresta Secundária (TPI/ARGI FS); Argissolo Amarelo sob Capoeira (ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob Roça (ARGI RÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA.....  | 80 |
| 20 | Teor de boro, cobre, ferro, manganês e zinco ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) em sistemas de manejo em Terras Preta de Índio formada sobre: Argissolo Amarelo sob Floresta Secundária (TPI/ARGI FS); Argissolo Amarelo sob Capoeira (ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob Roça (ARGI RÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA.....  | 83 |
| 21 | Teor de ferro, manganês e zinco ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) na camada da profundidade efetiva do solo em Terras Preta de Índio formada sobre: Argissolo Amarelo sob Floresta Secundária (TPI/ARGI FS); Argissolo Amarelo sob Capoeira (ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob Roça (ARGI RÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA.....   | 84 |
| 22 | Teor de ferro (a) e manganês (b) ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) em função da camada da profundidade efetiva do solo e em sistemas de manejo, em Terras Preta de Índio formada sobre: Argissolo Amarelo sob Floresta Secundária (TPI/ARGI FS); Argissolo Amarelo sob Capoeira (ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob Roça (ARGI RÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA .....      | 85 |
| 23 | pH em $\text{H}_2\text{O}$ e $\text{ClCa}_2$ na camada da profundidade efetiva do solo em sistemas de manejo de Terras Preta de Índio formada sobre: Argissolo Amarelo sob Floresta Secundária (TPI/ARGI FS); Argissolo Amarelo sob Capoeira (ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob Roça (ARGI RÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA .....                               | 87 |

|    |   |    |
|----|---|----|
| 24 | Teor de soma de base e alumínio na camada da profundidade efetiva do solo em Terras Preta de Índio formada sobre: Argissolo Amarelo sob Floresta Secundária (TPI/ARGI FS); Argissolo Amarelo sob Capoeira (ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob Roça (ARGI RÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA .....   | 92 |
| 25 | Teor de soma de base e hidrogênio e alumínio ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) na camada da profundidade efetiva do solo em Terras Preta de Índio formada sobre Argissolo Amarelo sob Floresta Secundária (TPI/ARGI FS); Argissolo Amarelo sob Capoeira (ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob Roça (ARGI RÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA ..... | 93 |
| 26 | CTC e CTC ef na camada da profundidade efetiva do solo em Terras Preta de Índio formada sobre: Argissolo Amarelo sob Floresta Secundária (TPI/ARGI FS); Argissolo Amarelo sob Capoeira (ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob Roça (ARGI RÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA .....  | 96 |
| 27 | CTC e CTC ef na camada da profundidade efetiva do solo em Terras Preta de Índio formada sobre: Argissolo Amarelo sob Floresta Secundária (TPI/ARGI FS); Argissolo Amarelo sob Capoeira (ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob Roça (ARGI RÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA .....  | 97 |
| 28 | Saturação por base e saturação por alumínio (%) na camada da profundidade efetiva do solo em Terras Preta de Índio formada sobre: Argissolo Amarelo sob Floresta Secundária (TPI/ARGI FS); Argissolo Amarelo sob Capoeira (ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob Roça (ARGI RÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA .....                                 | 99 |

## LISTA DE TABELAS

| Tabela |   | Página |
|--------|---|--------|
| 1      | Características morfológicas de ARGISSOLO AMARELO Hipereutrófico antropogênico, textura arenosa/média, A antrópico, Floresta Equatorial Subperenifólia, relevo plano na FLONA de Caxiuanã, PA (01°40'43,5"S e 51°20'07,1"W) .....   | 38     |
| 2      | Características físicas e químicas de ARGISSOLO AMARELO Hipereutrófico antropogênico, textura arenosa/média, A antrópico, Floresta Equatorial Subperenifólia, relevo plano na FLONA de Caxiuanã, PA, (01°40'43,5"S e 51°20'07,1"W) .....  | 38     |
| 3      | Características morfológicas de ARGISSOLO AMARELO Hiperdistrófico típico, textura média/argilosa, A proeminente, Floresta Equatorial Subperenifólia, relevo plano na FLONA de Caxiuanã, PA, (01°47'06,5"S e 51°28'36,0"W) .....   | 40     |
| 4      | Características físicas e químicas de ARGISSOLO AMARELO Hiperdistrófico típico, textura média/argilosa, A pro-eminente, Floresta Equatorial Subperenifólia, relevo plano na FLONA de Caxiuanã, PA, (01°47'06,5"S e 51°28'36,0"W) .....  | 40     |
| 5      | Características morfológicas de ARGISSOLO AMARELO Epimesodistrófico abruptico, textura arenosa/argilosa, A moderado, Floresta Equatorial Subperinifólia, relevo plano na FLONA de Caxiuanã, PA, (01°47'05,0"S e 51°28'44,0"W) .....   | 42     |
| 6      | Características físicas e químicas de ARGISSOLO AMARELO Epimesodistrófico abruptico, textura arenosa/argilosa, A moderado, floresta Equatorial Subperinifólia, relevo plano na FLONA de Caxiuanã, PA, (01°47'05,0"S e 51°28'44,0"W) .....   | 42     |
| 7      | Resumo da análise de variância para os teores de areia, silte e argila em solo antropizado formado sobre Argissolo Amarelo na profundidade efetiva do solo e interação entre eles na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA .....  | 50     |
| 8      | Resumo da análise de variância para teores de matéria orgânica do solo (MOS) em solo antropizado formado sobre Argissolo Amarelo, na profundidade efetiva do solo e interação entre eles na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA .....   | 56     |
| 9      | Resumo da análise de variância dos teores de carbono total (C), composição isotópica do carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ), teores de nitrogênio total (N), composição isotópica e do nitrogênio ( $\delta^{15}\text{N}$ ), estoque de carbono e relação C/N em solo antropizado formado sobre Argissolo Amarelo, em área, na profundidade efetiva do solo e interação entre eles na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA ..... | 60     |
| 10     | Resumo da análise de variância para teores de Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) em solo antropizado formado sobre Argissolo Amarelo, em área, na profundidade efetiva do solo e interação entre eles na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA .....  | 71     |
| 11     | Resumo da análise de variância para teores de sódio (Na) em solo antropizado formado sobre Argissolo Amarelo, em área, na profundidade efetiva do solo e interação entre eles na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA .....  | 79     |

|    |  |    |
|----|--|----|
| 12 | Resumo da análise de variância para teores de Boro (B), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Zinco (Zn) em solo antropizado formado sobre Argissolo Amarelo, em área, na profundidade efetiva do solo e interação entre eles na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA .....                 | 82 |
| 13 | Resumo da análise de variância para a reação do solo no pH em H <sub>2</sub> O e CaCl <sub>2</sub> em solo antropizado formado sobre Argissolo Amarelo, em área, na profundidade efetiva do solo e interação entre eles na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA .....                         | 87 |
| 14 | Resumo da análise de variância para soma de bases (SB) em solo antropizado formado sobre Argissolo Amarelo, em área, na profundidade efetiva do solo e interação entre eles na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA .....   | 90 |
| 15 | Resumo da análise de variância para capacidade de troca de cátions (CTC) e capacidade de troca de cátions efetiva (CTC ef) em solo antropizado formado sobre Argissolo Amarelo, em área, na profundidade efetiva do solo e interação entre eles na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA ..... | 95 |
| 16 | Resumo da análise de variância para saturação por base (V) e saturação por alumínio (m) em solo antropizado formado sobre Argissolo Amarelo, em área, na profundidade efetiva do solo e interação entre eles na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA .....                                    | 98 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al - Alumínio

B - Boro

C - Carbono

Ca - Cálcio

CaCl<sub>2</sub> - Cloreto de cálcio

CAH – Ácido húmico

cm - centímetro

cmol<sub>c</sub> dm<sup>3</sup> - centimolar de carga por decímetro cúbico

CPATU – Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido

CTC - Capacidade de Troca de Cátions

CTC ef - Capacidade de Troca de Cátions efetiva

Cu - Cobre

DS – Densidade do solo

ECFPn - Estação Científica Ferreira Penna

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Fe - Ferro

FLONA - Floresta Nacional

g – grama

kg – kilograma

H – Hidrogênio

H<sub>2</sub>O - água

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

K - Potássio

KCl – Cloreto de potássio

m – Saturação por alumínio

m - metro

Mg - Magnésio

mmol dm<sup>3</sup> - milimol por decímetro cúbico

Mn - Manganês

MO - Matéria Orgânica

MOS – Matéria Orgânica do Solo

MPEG - Museu Paraense Emílio Goeldi

N - Nitrogênio

Na - Sódio

NO – Óxido Nítrico

P - Fósforo

Pg – Pentagrama

pH – potencial hidrogênionico

S - Enxofre

SB – Soma de bases

SNUC – Sistema Nacional das Unidades de Conservação

TFSA – Terra Fina Seca ao Ar

TP – Terra Preta

TPA – Terra Preta Arqueológica

TPI – Terra Preta de Índio

TPIs – Terras Preta de Índio

UC - Unidade de Conservação

V – Saturação por base

Zn – Zinco

% - Porcentagem

INTERFERÊNCIA DE SISTEMAS DE MANEJO NA FLORESTA NACIONAL DE CAXIUANÃ, PA NOS ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS E NA COMPOSIÇÃO ISOTÓPICA DE SOLO ANTROPIZADO. . Botucatu, 2013. 110 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

Autora: Rosa de Nazaré Paes da Silva

Orientador: Dirceu Maximino Fernandes

Co orientador: Maria de Lourdes Pinheiro ruivo

## RESUMO

O uso e manejo do solo altera as características dos solos, e com isso, estudos relacionados à edafologia, bem como isótopo estável associado ao cultivo agrícola, tem sido realizado ao longo do tempo. O presente trabalho teve como objetivo avaliar através dos atributos físicos, químicos e na composição isotópica do  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  as alterações causadas por diferentes sistemas de manejo na camada da profundidade efetiva em solos antropizados. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 3x4, sendo 3 - fator sistema de uso (Terra Preta de Índio formada sobre: Argissolo Amarelo sob Floresta Secundária – TPI/ARGI FS; Argissolo Amarelo sob Capoeira – ARGI CP e Argissolo Amarelo sob Roça – ARGI RÇ) e 4 - fator profundidade (0 a 5; 5 a 10; 10 a 20 e 20 a 30 cm), com 9 repetições. Em cada sistema foi realizada a caracterização, classificação, coleta e análise de 108 amostras compostas. As variáveis estudadas foram: granulometria, estoque de carbono, composição isotópica de  $\delta^{15}\text{N}$  e  $\delta^{13}\text{C}$ , teor de C e N, relação C/N, pH em  $\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{ClCa}_2$ , matéria orgânica do solo, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, sódio, boro, cobre, manganês, ferro, zinco, alumínio, hidrogênio e alumínio, soma de bases, capacidade de troca de cátions, capacidade de troca de cátions efetiva, índice de saturação por bases e o índice de saturação por alumínio. Para avaliação dos resultados foi utilizado o teste de média (Tukey a 5% de significância). Observou-se que nas áreas de roçado o C e o N apresentaram valores significativos na profundidade de 20 a 30 cm, devido ao revolvimento manual do solo, incorporando a liteira na camada mais profunda. Os solos antropizados sob Floresta Secundária (TPI/ARGI FS) apresentaram-se com baixa acidez, altos teores de fósforo, potássio, cálcio e sódio e baixos teores de potássio. Valores significativos de magnésio foram encontrados em solo antropizado sob Roça (ARGI RÇ) devido a baixa CTC associada a SB. Os teores de micronutrientes encontrados na TPI/ARGI FS apresentaram a seguinte ordem decrescente:  $\text{Cu} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Fe} > \text{B}$ . Conclui-se que após o cultivo agrícola, a recuperação dos atributos químicos ocorre à medida que solo permanece em pousio seguido de descanso, indicando que o sistema de manejo não tecnificado promove uma menor degradação do solo.

Palavra chave: 1.Solos – Fertilidade. 2.Isótopos Estáveis. 3.Floresta Nacional de Caxiuanã – Pará – Ecossistemas. 4.Solo adequado para agricultura e Terra Preta.

INTERFERENCE MANAGEMENT SYSTEMS IN CAXIUANÃ NATIONAL FOREST, PA ATTRIBUTES IN PHYSICAL AND CHEMICAL AND ISOTOPIC COMPOSITION OF SOIL ANTHROPOGENIC. Botucatu, 2013. 110 p. Thesis (Ph.D. in Agronomy / Agriculture) - Faculty of Agricultural Sciences, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho".

Author: Rose de Nazareth Paes da Silva

Advisor: Dirceu Maximino Fernandes

Co advisor: Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo

## ABSTRACT

The use and soil management alters soil characteristics, and thus, studies related to pedology, as well as stable isotope associated with agricultural cultivation has been carried out over time. This study aimed to evaluate through the physical, chemical and isotopic composition of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  changes caused by different tillage systems on the effective depth layer in anthropogenic soils. The experimental design was completely randomized in a 3x4 factorial design, 3- factor use system (Terra Preta formed on Ultisol under Secondary Forest - TPI/ARGI FS ; Ultisol under Capoeira - ARGICP and Ultisol under Plantation - ARGIRC ) and 4- depth factor (0 to 5, 5 to 10, 10 to 20 and 20 to 30 cm) using 9 replicates. In each system was performed characterization, classification, collection and analysis of 108 composite samples. The variables studied were: particle size, carbon storage, isotopic composition of  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ , C and N content, C/N ratio, pH in  $\text{H}_2\text{O}$  and  $\text{CaCl}_2$ , soil organic matter, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sodium, boron, copper, manganese, iron, zinc, aluminum, hydrogen and aluminum, sum of base cation exchange capacity, capacity exchange cation effective base saturation index and the index of aluminum saturation. To evaluate the results we used the mean test (Tukey test at 5% significance). It was observed that the scuffed areas C and N showed higher values at a depth of 20 to 30 cm, justifying its occurrence due to manual tilling soil litter layer incorporating deeper. Anthropogenic soils under Secondary Forest (TPI/ARGI FS ) present with low acidity and high levels of phosphorus, potassium, calcium and sodium. It is worth noting that the levels of potassium are significantly lower, which accuses the deficiency of TPI/ARGI FS for this nutrient. Significant amounts of magnesium were found in anthropogenic soil under plantation (ARGIRC) than justified by the low CEC associated with SB. Micronutrients in TPI/ARGI FS were representative in the following order:  $\text{Cu} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Fe} > \text{B}$ . We conclude that after cultivation agricultural recovery of the chemical occurs as soil remains fallow followed by rest so no intensive production management system does not promote the degradation of the soil.

Keyword: 1.Solos - Fertility. 2.Isótopos Stable. 3.Floresta National Caxiuanã - Pará - Ecosystems. 4.Solo suitable for agriculture e black earth.

### **3. INTRODUÇÃO**

A Floresta Nacional de Caxiuanã é uma Unidade de Conservação Federal, localizada no Estado Pará, com 324 mil hectares parcialmente preservados. Em 10% de sua área total encontram-se o equivalente a 80% de Latossolos e Argissolos, independente da classe dos solos de ocorrência em Caxiuanã, o uso com fins agrícolas têm sido recorrente, sendo que o principal tipo de sistema de manejo é o não tecnificado, também chamado de agricultura de corte e queima, itinerante, coivara ou subsistência.

Acredita-se que as populações pretéritas manejavam o solo de uma forma diferenciada do processo praticado nos trópicos, derrubando primeiramente a floresta e, em seguida, realizando o processo de queima controlada “slash and char”, obtendo como produto final o carvão vegetal ao invés de cinza.

Associado a esse sistema de manejo, seguido de longo tempo de “abandono” e contrapondo a fertilidade natural da classe de solos de Caxiuanã, formam-se

os solos antrópicos dos quais destaca-se a Terra Preta (TP) também chamada de Terra Preta de Índio (TPI) ou Terra Preta Arqueológica (TPA) .

A formação da TP se confunde com a ocupação da Amazônia e de Caxiuanã. Questões relevantes como: etnias que ocuparam essas áreas, distribuição populacional, uso e manejo do solo, espécies cultivadas, rituais religiosos, dentre outros, podem servir de indicativos do nível de “fertilidade natural” dessas áreas, a qual é mensurada através das análises clássicas de fertilidade assim como a origem da matéria orgânica e a fixação biológica do nitrogênio são identificadas através da composição isotópica do  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ .

A TP é caracterizada por apresentar características peculiares como A antrópico, cor escura, textura arenosa/média, altos valores da relação silte/argila que indicam baixo intemperismo, altos teores de carbono orgânico, fósforo, cálcio, ferro, cobre, manganês e zinco, altas CTC e V(%), e a ausência de  $\text{Al}^+$ , assim como reduzido teor de magnésio, com ocorrência de fragmentos de cerâmica e carvão, bivalves de água doce, ossos e carcaça de animais.

Desta forma, consolidando o conhecimento sobre o manejo sustentável da TP para uso agrícola, uma vez que diante do complexo sistema de produção implantado na Amazônia há uma necessidade eminente de “novos” sistemas de uso e manejo do solo, que possam manter a floresta primária e/ou secundária associada ao uso de capoeiras e roças, sem que para isso seja necessário a abertura de novas áreas evitando o desflorestamento.

Portanto, este estudo testa a hipótese de que o sistema de manejo não tecnificado, interfere nos atributos físicos, químicos e a composição isotópica da Terra Preta e dos solos antropizados. O objetivo deste ensaio foi de avaliar através dos atributos físicos, químicos e na composição isotópica do  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  as alterações causadas por diferentes sistemas de manejo na camada da profundidade efetiva em solos antropizados.

## **4. REVISÃO DE LITERATURA**

### **4.1. Os solos de ocorrência em Caxiuanã e a formação dos solos antrópicos**

Em 10% da FLONA de Caxiuanã, que representa 32,4 mil hectares, são encontrados as seguintes classes dos solos: Latossolo Amarelo (65%), sendo que o Latossolo Amarelo distrófico textura média é predominante, seguido pelo de textura muito argilosa; os Plintossolos que ocupam aproximadamente 4%; seguidos de Alissolos com 1,5%. As associações de Argissolo e Latossolo correspondem a 9% e os Gleissolos e Neossolos somam 20% (COSTA et al., 2009 ).

O Latossolo Amarelo distrófico típico é um solo mineral muito profundo e bem drenado. Apresenta sequencia de horizonte do tipo A, AB, BA, Bw<sub>1</sub>, Bw<sub>2</sub>, Bw<sub>3</sub> e Bw<sub>4</sub>, com cores brunadas e bruno amareladas nos matizes 10 YR e 7YR, com pouca diferenciação dos horizontes. A textura destes solos modifica-se de acordo com a

geomorfologia da paisagem, visto que, nas médias altitudes é argilosa e nos baixos platôs apresenta textura média. São solos fracamente estruturados que se desfazem em pequenos e médios blocos subangulares, sendo bem drenados e de baixa fertilidade natural (COSTA et al., 2009).

A fração de argila é dominante em todos os horizontes do Latossolo Amarelo de textura argilosa e muito argilosa, onde alcançam cerca de  $760 \text{ g kg}^{-1}$  de solo no horizonte B. Estes solos apresentam reação forte a extremamente ácida com pH, em água, variando entre 3,7 e 4,9, baixos teores de matéria orgânica, soma de bases (SB) e CTC (COSTA et al., 2009).

Os Argissolos são caracterizados pelo horizonte B textural, alta relação textural B/A e podem ser eutrófico ou distrófico, e possuem características químicas e mineralógicas semelhantes aos Latossolos Amarelos (CARMO et al., 2009 e CARMO, 2008).

O Plintossolo Argilúvico plíntico (FTbd), estão localizados em terra firme, próximo às margens da baía de Caxiuanã onde, em determinados pontos apresentam-se eutrófico, assim como em algumas áreas de Argissolo subjacentes a sítios arqueológicos com Terra Preta do Índio. O horizonte A que corresponde a camada de ocupação humana, apresentou 28 cm de espessura, coloração escura (7,5 YR 2,5/1) e textura franca caracterizaram-se como um solo mal estruturado. Neste perfil foram encontrados restos cerâmicos que se estenderam até os horizontes de transição (AB e BA), e apresentaram-se com alta fertilidade natural, elevados teores de matéria orgânica, soma de bases, capacidade de troca de cátions e 99% de saturação por base (COSTA et al., 2009).

Gleissolo Háplico Tb distrófico alumínico (GXbd), é formado a partir de sedimento recente do período Holoceno, em área parcial ou totalmente inundada durante grande parte do ano, o que facilita a deposição constante e progressiva de partículas suspensas na água, são profundos e imperfeitamente drenados, as cores cinzas, variam de escuro a claro no matiz 5YR, com textura siltosa e estrutura forte (VIEIRA, 1975). Em Caxiuanã, são encontrados em áreas de “savana”, onde na granulometria deste solo há predomínio das frações silte, com valor máximo de  $785 \text{ g kg}^{-1}$  de solo e relação silte/argila acima de 1,0, demonstrando ser pouco intemperizados. É um solo pobre quimicamente, com baixos teores de soma e saturação de base, carbono e capacidade de

troca de cátions. O caráter aluminico é resultante da presença de altos teores de alumínio acima de  $4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e saturação por alumínio acima de 50% (COSTA et al., 2009).

Os Neossolos Flúvico Tb distrófico típico (RUBd) encontrados na região de Caxiuanã, apresentam horizonte A de cor brunada e textura siltosa, com valor de silte superior a  $800 \text{ g kg}^{-1}$  de solo e fração de areia quase inexistente indicando, assim, a incapacidade dos cursos d'água em transportar sedimentos grosseiros até a planície de inundação. Estes solos são de formação recente, cuja origem deve-se à disposição de sedimentos transportados, em suspensão, nas águas pluviofluviais (COSTA et al., 2009).

Associado aos grandes grupamentos de solos de ocorrência em Caxiuanã é possível, encontrar manchas de TPI localizadas em posição mais elevada e as margens dos principais rios e baía que banham a região. Essas áreas apresentam em sua maioria baixa densidade de fragmento de cerâmica e de material lítico. As áreas medem no máximo 1 hectare com horizonte A antrópico, correspondente à camada de ocupação humana pré- histórica, pouco espesso, tendo em média 30 cm (COSTA et al., 2009).

Os mesmos autores, afirmam que os horizontes A dos solos com TPI são mais escuros, normalmente apresentando cor preta, textualmente mais arenosos e melhores estruturados que os solos adjacentes. Teores elevados de CaO, MgO, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, B, Cu, Mn e Zn constituem uma associação típica das TPI, o que é resultado direto da atividade humana pretérita. Já a ocorrência de altos teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e V é resultante da formação geoquímica dos Latossolos regionais.

O pioneiro na descrição de Terra Preta de Índio (TPI) ou “Amazonian Dark Earths” foi Hartt (1885), que chamou TPI de “terra cotta”. Este termo foi baseado numa sequência de publicações arqueológicas que indicavam as cerâmicas como as únicas relíquias das culturas antigas (CUNHA, 2005).

Até meados do século passado, várias hipóteses foram levantadas para justificar a formação das Terras Pretas, pesquisadores entendiam que estes solos ter-se-iam originados em função de eventos geológicos: cinzas vulcânicas, decomposição de rochas vulcânicas ou a partir de sedimentos depositados em fundos de lagos extintos (CUNHA, 2005).

Tão antigos quanto às investigações das Terras Pretas foram os questionamentos sobre a sua origem. Faria (1946), propôs que as áreas de Terra Preta já eram férteis antes do estabelecimento da população nativa. Mais tarde, uma sequência de

origem geogênica foi proposta. Por exemplo, vulcânica (Hilbert, 1955), fluvial (Franco, 1962) e sedimentar (FALESI, 1967).

A primeira sugestão de uma origem antropogênica para as Terras Pretas foi proposta por Gourou no final da década de 40. A partir de então esta teoria foi corroborada por Ranzani, Sombroek, Hilbert, Falesi, Smith, Zech, EMBRAPA, Glaser e Woods .

Entretanto, ainda existem controvérsias sobre como o homem pré-colombiano formou estes horizontes, se em função da incorporação intencional de nutrientes ao solo através de práticas de manejo como queimadas, ou se estes solos teriam se originado a partir da ocupação humana pretérita, ou seja, esses solos seriam antigos assentamentos indígenas (KÄMPF, 2010).

É válido ressaltar que aparentemente as TPIs formam microssistemas próprios que não se exaurem facilmente, mesmo em condições tropicais a que estão expostas ao longo do tempo. Essas áreas serviram de verdadeiros depósitos de compostagem de material de origem vegetal e animal, sendo primordial para a atual formação da TPI (MADARI, 2009).

Durante os anos 60 e 70, áreas de Terras Pretas distribuídas ao longo da bacia amazônica foram mapeadas e investigadas, em relação a parâmetros que davam suporte à origem antropogênica destes solos. Nos anos 80 a Terra Preta foi identificada como sendo um tipo de local de despejos de restos alimentares, que adquiriu fertilidade específica por adição de esterco, lixo doméstico e refugos de caça e pesca (KÄMPF et al., 2009).

Os primeiros registros de ocorrência de TPI na Amazônia foram feitos por Falesi na década de 70, quando observou mudança da cobertura vegetal associado a cor do solo. O que foi classificado como transição entre Latossolo Amarelo para Latossolo Amarelo Húmico Antropogênico, essas manchas escuras, foram encontradas no planalto da margem direita do rio Tapajós, em formato circular medindo de 2 a 12 hectares, apresentam o horizonte A proeminente, preto, humoso, friável, altos teores de cálcio, magnésio, fósforo e fragmentos de cerâmica indígena (FALESI, 1972).

Corroborando, Vieira et al. (1983) descreveram estes solos como sendo Latossolo Húmico Antropogênico, antes designado de Latossolo Amarelo Húmico Antropogênico e Latossolo Vermelho Amarelo Húmico Antropogênico, conhecido na Amazônia como “Terra Preta de Índio” compreende solos com B latossólico, normalmente

eutróficos, com elevada concentração de P disponível e que possuem um horizonte A antrópico bastante profundo que é encontrado, com frequência preenchido com fragmentos de cerâmica indígena. Podem possuir um horizonte A proeminente, quando então passam a ser chamada de “Terra Mulata” a qual se constitui de um solo de menor fertilidade servindo de intervalo entre a TPI e os solos adjacentes.

Entretanto, Kämpf et al. (2009) consideraram as classificações pedológicas tradicionais impróprias para o agrupamento e distinção dos diversos tipos de solos antrópicos uma vez que estas enfatizam os horizontes subsuperficiais que são menos sensíveis a modificações por atividades humanas.

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006) classifica esses solos como horizonte A antrópico, formado ou modificado pelo uso contínuo do solo pelo homem, como lugar de residência ou cultivo por períodos prolongados com adições de material orgânico em mistura ou não com material mineral, ocorrendo às vezes, fragmentos de cerâmicas e restos de ossos e conchas.

O horizonte A antrópico assemelha-se aos horizontes A chernozêmico ou A húmico, já que a saturação por base é variável, e, geralmente, difere destes por apresentar teor de  $P_2O_5$  solúvel em ácido cítrico mais elevado que na parte inferior do solo, em geral, superior a  $250 \text{ mg kg}^{-1}$  de solo. Este valor é assumido como limite para a maioria dos solos em condições naturais; entretanto, valores e métodos analíticos devem ser correlacionados no futuro (EMBRAPA, 2006).

Kämpf et al. (2009) classificaram as Terras Pretas de Índio e outros solos antrópicos antigos como sendo muito argiloso (teor de argila  $\geq 600 \text{ g kg}^{-1}$ ), argiloso (teor de argila  $< 600$  e  $\geq 350 \text{ g kg}^{-1}$ ), média (teor de argila  $< 350$  e  $\geq 150 \text{ g kg}^{-1}$ ), arenosa (classes texturais areia e areia franca) e siltosa (teor de argila  $< 350 \text{ g kg}^{-1}$  e teor de areia  $< 150 \text{ g kg}^{-1}$ ).

Partindo-se desse princípio a TPI pode ser classificada como Latossolo Amarelo distrófico antrópico, onde a influência antrópica é reconhecida a partir dos subgrupos (quarto nível categórico) e Argissolo Amarelo hipereutrófico antropogênico. Podendo abranger tipos diferentes de Hortic Anthrosols (Sombroek et al., 2002), mas segundo Kämpf et al. (2003) grande parte é excluída dos Anthrosols em virtude da espessura  $\geq 50$  cm requerida para o horizonte superficial.

Na tentativa de classificar o solo com TPI, Sombroek et al. (2002) listaram alguns critérios como espessura da camada escura, textura, concentração de C

orgânico, CTC, V, P, Mn e Zn disponível. Aspectos texturais e características químicas e mineralógicas das TPI de ocorrência em especial na região de Caxiuanã indicam que sua formação ocorreu sobre Latossolo Amarelo pré-existentes, nos quais derivaram da alteração de antigos perfis lateríticos (GURJÃO et al., 2010).

Na região da Floresta Nacional de Caxiuanã no Estado do Pará, foi observada por Costa (2002) a formação de manchas de Terra Preta de Índio (TPI) sobre Argissolos, as TPI apresentam horizonte A antropogênico com fragmentos cerâmicos e/ou artefatos líticos e conchas, e, por conta de sua alta fertilidade, são utilizados pela população local para agricultura.

Os tamanhos das manchas de TPI podem variar de menos de um até várias centenas de hectares e pode ser encontrada em planícies de inundação (várzea e igapó) e terra firme, ao longo dos rios e interflúvios, sob vegetação de floresta secundária, capoeira em regeneração e roça em atividade, o relevo é plano ocupando vários níveis de cotas dentro da paisagem regional. Podem corresponder a horizontes superficiais de várias classes de solos como Latossolos, Argissolos, Cambissolos, Plintossolos e Espodossolos (KÄMPF et al., 2009; DENEVAM, 2009; VIEIRA, 1988).

#### **4.2.A agricultura itinerante e uso agrícola da Terra Preta de Índio.**

A agricultura itinerante também chamada de corte e queima, na sua definição mais ampla, é qualquer sistema agrícola contínuo no qual clareiras são abertas para serem cultivadas por períodos mais curtos de tempo do que aqueles destinados ao pousio (CONKLIN, 1961; POSEY, 1984; EDEN & ANDRADE, 1987; KLEINMAN et al., 1995).

McGrath (1987) a definiu como uma estratégia de manejo de recursos, onde os campos são rotacionados de forma a explorar o capital energético e nutritivo do complexo natural solo-vegetação da floresta, muitas vezes constituindo a única fonte de nutrientes para as roças. A agricultura de corte e queima é uma adaptação altamente eficiente as condições onde o trabalho, e não a terra é o fator limitante mais significativo na produção agrícola (BOSERUP, 1965).

Na literatura, muitos são os termos usados para denominá-la, como “swidden” (Inglaterra), “rai” (Suécia), “coivara”, “milpa”, “conuco”, “roza”, “chacra”, “chaco” (América Latina), “shamba”, “chitemene” (África), “jhum” (Índia), “kaingin”(Filipinas), “ladang” (Indonésia e Malásia), dentre outros. No entanto, os termos

mais abrangentes e frequentes na literatura para designar esse sistema agrícola são: agricultura de corte e queima (slash-and-burn agriculture), agricultura itinerante (shifting cultivation) e, menos frequentemente, “swidden” (PEDROSO JÚNIOR et al., 2008).

Sanchez et al. (2005) sugeriram o uso da agricultura itinerante para denominar o sistema de rotação tradicional com longos períodos de pousio e a agricultura de corte e queima para denominar outros sistemas de cultivo caracterizados por corte e queima da vegetação, associados a curtos períodos de pousio ou, até mesmo, sua inexistência.

Segundo Vieira et al. (2000), o sistema de pousio é caracterizado pela manutenção temporária do solo sem cultivo. Ele fica repousando por um período suficiente para serem refeitas as propriedades físicas e de fertilidade. Neste sistema, que inclui a agricultura nômade ou de constantes mudanças de local, o solo é cultivado por períodos menores do que aqueles em que fica em repouso. Esse sistema também conhecido como não tecnificado é o principal meio de cultivo do solo na Amazônia, causa inúmeras modificações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo a partir do momento em que o sistema natural é modificado pelo fogo (CERRI et al., 1985).

Entretanto, as cinzas são de fundamental importância, já que atuam como fonte de nutrientes e de calagem para os solos ácidos e de baixo teor de nutrientes que predominam na Região Amazônica (SMITH, 2009).

Nesse contexto, Pedroso Junior et al. (2008) disseram que é possível observar na literatura estudos que tratam a agricultura de corte e queima, em diferentes graus, como um método predatório e destrutivo dos recursos naturais dos trópicos úmidos, oferecendo muitas vezes alternativas para substituí-la. Da mesma forma, estudos que buscam atestar o caráter sustentável de sua prática são frequentes, ao mesmo tempo em que propostas são elaboradas para promover a manutenção desse sistema agrícola tradicional sem que para isso sejam causados grandes danos ambientais.

Partindo-se dessas primícias norteadoras da agricultura de corte e queima, observou-se que o modelo de uso e manejo do solo utilizado por populações passadas, resultou na formação de um “novo” tipo de solo denominado de terras escuras antropogênicas, as quais apresentam larga ocorrência em áreas ribeirinhas, assim como na terra firme.

A forma mais escura chamada de TPI parece ter sido desenvolvida a partir do lixo de vilas pré – europeias constituídas de cinzas e carvão de cozimento, fezes, ossos e restos domésticos de jardins (DENEVAN, 2009).

A principal teoria para a permanente fertilidade da TPI é justificada pela prática frequente de algum método de queima, do qual restou o carvão, que, ao contrário das cinzas, não é degradável. Essa “queima fria” poderia ser uma forma de “triturar e chamoscar” (slash and char), onde o material oriundo da limpeza do terreno era queimado ainda úmido, resultando em combustão incompleta. Neste caso, o carvão resultante da “queima-fria”, juntamente com os altos níveis de microrganismos no solo, aparentemente promoveram a alta fertilidade desses solos (DENEVAN, 2009).

A partir dessa potencialidade “natural” o uso das TPI no cultivo agrícola é recorrente em toda a Amazônia, há relatos de produtores no interior do Amazonas assim como em Caxiuanã que a fertilidade das TPI é um diferencial no cultivo agrícola, aumentando consideravelmente a produção e conseqüentemente, a produtividade.

Porém, a prática tem mostrado que as TPI apresentam alguns nutrientes limitantes ao desenvolvimento e produtividade das culturas, levando alguns produtores a utilizarem, contraditoriamente, altas doses de corretivos e fertilizantes sintéticos nas áreas de Terra Preta, ocasionando degradação química e física nesses solos (FALCÃO et al. 2009).

A experiência de grupos indígenas da região do alto Xingu no Estado do Pará, demonstraram que determinadas culturas exigem mais nutrientes do solo (como milho e banana) tanto na TP de sítios pré-históricos (que frequentemente estão muito distantes das casas) quanto nas áreas de TP, que se acumulam nas redondezas da aldeia a mais de 25 anos (SCHMIDT; HECKENBERGER, 2009).

#### **4.3. Atributos físicos e químicos da Terra Preta de Índio**

A composição granulométrica é uma propriedade física (qualitativa) de extrema importância no solo, pois controla a retenção de água e nutrientes; as trocas gasosas; as alterações das propriedades física, química e biológica, assim como, os processos de modificação do solo resultante da ação antrópica (NEVES JUNIOR, 2008).

As manchas de TPI são extremamente férteis e não precisam de adubos, para obtenção de altas produtividades. Entretanto, a prática tem mostrado que as TPIs apresentam alguns nutrientes limitantes ao desenvolvimento e produtividade das culturas, levando alguns produtores a utilizarem, contraditoriamente, altas doses de corretivos e fertilizantes nas áreas de TPI. Esta exploração intensiva e a utilização de nutrientes de forma desbalanceada causam problemas de degradação química (Falcão et al., 2003, 2006) e física (TEXEIRA, 2003).

As Terras Pretas não são homogêneas quanto à fertilidade e potencial produtivo, podendo haver diferenças inclusive entre Terras Pretas de uma mesma região e há uma grande variedade nas propriedades de fertilidade dentro de uma mancha (Lehmann et al., 2003). A principal hipótese que confirma esse fato é que os hábitos e costumes diferem entre etnias o que respalda a heterogeneidade entre e dentro as TPIs.

Apesar dessas diferenças, algumas propriedades importantes ligadas ao grau de fertilidade são comuns na maioria das Terras Pretas, como: alto teor de carbono orgânico com propriedades físico-químicas particulares (em grande parte pirogênico) e elevados teores de fósforo, cálcio e micronutrientes, comparados a solos adjacentes, em sua maioria os Argissolos e Latossolos (MADARI et al. 2009).

Falcão et al. (2004) estudando amostras de solos coletadas da camada superficial de dez sítios de TPI, localizados próximos à cidade de Manaus-AM, observaram valores de pH em água que variaram entre 4,32 e 6,61 com média de 5,68. Os valores de pH em KCl variaram na faixa de 3,77 e 6,01 com média de 4,95. Já na camada sub superficial os valores de pH em água variaram entre 4,15 e 6,71 com média de 5,75; e o pH em KCl variou na faixa de 3,79 e 6,26 com média de 4,97.

Os mesmo autores em 2003, determinando o pH de amostras de solos de TPI, observaram a seguinte ordem decrescente:  $\text{pH H}_2\text{O} > \text{pH CaCl}_2 > \text{pH em KCl}$ . De modo geral esses valores mostram que as TPIs apresentam maiores valores de pH em  $\text{H}_2\text{O}$ , quando comparadas com os valores encontrados em Latossolos e Argissolos.

As variáveis como a capacidade de troca de cátions efetiva (CTC ef), a soma de bases (SB) e a saturação por base (V %) apresentam valores muito mais altos nas TPIs quando comparados com os solos adjacentes. Esses valores da CTC não são somente resultados do alto teor de material orgânico presente, mas também de uma maior densidade de cargas por unidade de carbono (SAMBROEK et al., 1993).

As concentrações de N total nas TPIs são, em geral, muito mais altas que nos solos adjacentes. Entretanto, esse fato não pode ser generalizado para a TPI estudada até o momento, maiores teores de N total nas TPIs, nem sempre resultam em N prontamente disponível para as plantas. Alguns trabalhos têm revelado baixa concentração de N – NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, nas TPIs, comparando com os valores encontrados nos solos adjacentes (LEHMANN et al., 2003).

Falcão (2009) encontrou elevados teores de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total na camada superficial e na subsuperfície. O mesmo autor, observou que os maiores teores de fósforo foram observados em TPI os quais apresentaram textura muito argilosa e o menor valor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, foi encontrado na amostra com textura franco-arenosa em solos de TPI.

Diversos trabalhos de caracterização química das terras pretas, têm mostrado que o potássio não está em altas concentrações, da mesma forma que ocorre com os valores encontrados para P, Ca e Mg. Vieira (1988) descrevendo perfis de Latossolo Amarelo com A antrópico no município de Manacapuru (AM) encontrou uma relação 9,39 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> Ca<sup>++</sup> ; 1,91 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> Mg<sup>++</sup> e 0,07 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> K<sup>+</sup>.

Corroborando, Brasil et al. (2010), desceveram que para as classes de solos de ocorrência no Estado do Pará os teores de K são classificados como baixos se forem  $\leq 0,10$  cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>. Com isso pode-se inferir que a utilização intensiva desses solos, sem adubação complementar com alguma fonte de potássio, pode ocasionar deficiência desse nutriente para as culturas.

Zech et al. (1990) observaram nos solos antropogênicos materiais originados da matéria orgânica (MOS) na forma estável com alto peso molecular e estruturas de anéis aromáticos unidos, situação diferente da encontrada nos Latossolos, com os polissacarídeos totalmente degradados, sendo essa característica da MOS na Terra Preta, provavelmente, devida à atividade microbiana do solo.

Moreira (2007) afirmou que o aumento na quantidade de ácidos húmicos nos solos antropogênicos, quando comparados com outras classes de solos pode ser indicador da melhor eficiência na humificação ocasionada pelo aumento da atividade microbiana (Steiner et al., 2004a), responsável pela síntese de substâncias húmicas mais condensadas (CANELLAS et al., 2001).

Esse incremento na humificação da TPI, quando comparado com os outros solos analisados, também pode ser devido aos altos teores de Ca presente no

complexo de troca, que favorecem as atividades dos anelídeos e térmitas, fornecendo uma matéria orgânica menos solúvel e com agregados mais estáveis (LIMA et al., 2002).

O principal diferencial da TPI é o elevado parâmetro de “fertilidade natural” que esse solo apresenta, quando comparados aos atributos químicos dos solos naturais de ocorrência na Amazônia. É sabido que a fertilidade desses solos difere entre e dentre sítios e/ou manchas de TPI. Certamente essas diferenças são resultantes da etnia que habitou no lugar de formação desses solos.

#### **4.4. Estoque de carbono no solo e relação C/N**

O solo é um importante reservatório de carbono. A biosfera terrestre armazena aproximadamente 1500 Pg (1Pg =  $10^{15}$ g) de carbono (C) nos primeiros 100 cm de solo e outros 600 Pg de C na vegetação, que somados equivalem a três vezes a quantidade de C contido na atmosfera (CERRI; FEIGL; CERRI, 2008).

O estoque de carbono do solo é controlado por uma variedade de fatores climáticos e biogeoquímicos os quais são diretamente influenciados por mudanças no uso e ocupação da terra, através do desflorestamento a implantação de monocultivos e pastagens (FIDALGO et al. 2012).

Segundo Boddey (2012) a atividade agrosilvopastoril desenvolvidas na Amazônia tem demonstrado ser altamente dependente da matéria orgânica para a sua sustentabilidade, em virtude das inter-relações entre as características físicas, químicas e biológicas e o C do solo. Estudo referente ao sequestro de C passa a ser muito mais importante em razão da necessidade de recuperar solos e ecossistemas degradados, melhorar a qualidade da água, aumentar a biodiversidade e a produtividade agrícola para alcançar níveis adequados de segurança alimentar.

Em um ecossistema nativo a matéria orgânica o solo está em equilíbrio dinâmico, ou seja, as entradas e saídas se compensam. Diferente do que ocorre com a mudança do sistema nativo por ação antrópica, o equilíbrio dinâmico é rompido ocasionando diferenças significativas no estoque de carbono do solo (DE- POLLI et al., 2005)

O acúmulo do C do solo é controlado pela taxa da deposição de resíduos adicionados ao solo e a taxa de sua decomposição. Em solos de alta fertilidade natural os estoques do C do solo sob vegetação nativa são frequentemente perto da capacidade máxima daquele solo de armazenar C (BODDEY, 2012).

Em alguns ecossistemas, entretanto, a fertilidade natural do solo é baixa, e a produção primária vegetal é limitada de tal forma que após a aplicação de calcário e adubos sintéticos aos sistemas agrícolas, pastagem ou florestas plantadas, a produção primária poderia superar significativamente aquela da vegetação nativa (BODDEY et al., 2012).

Portanto o estudo do estoque de carbono através da análise dos teores de carbono disponível no solo tem sido recorrente, assim como complementa os estudos referentes à fertilidade dos solos.

#### **4.5. Concentrações de C e N total e determinação isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ .**

Os efeitos benéficos da matéria orgânica sobre a produtividade das plantas assim como na qualidade do solo já é reconhecida pela comunidade científica. Sua ação ocorre indiretamente sobre a fertilidade do solo, elevando a capacidade de troca de cátions, capacidade tampão contra a modificação do pH do solo e a formação de agregados e estruturação do solo. Dentre os principais nutrientes essenciais o nitrogênio é um dos mais importantes para a nutrição das plantas, sendo requerido em grandes quantidades durante o crescimento vegetativo. Porém, sua disponibilidade no solo é escassa, o que corroborada a dição de fertilizantes nitrogenados passa a ser de fundamental importância.

Os principais elementos de interesse, dentro dos estudos sobre MOS, são C e N, estes apresentam ao menos um isótopo que pode ser usado como traçador para os estudos dos elementos no sistema solo – planta (ALVES et al., 2008).

Os isótopos estáveis são assim chamados por não alterarem a massa ao longo de sua existência, ao contrário dos chamados instáveis ou radioativos, que, por sua vez, decaem por emissão de energia ou partículas subatômicas. Na natureza, existem dois isótopos estáveis do C que se encontra em 12 proporções estáveis em diferentes tipos de materiais. O C é o mais leve e apresenta a maior proporção em relação ao total de C na natureza (98,89%), representa apenas 1,11% do total. Essas proporções se mantêm relativamente estáveis em qualquer resíduo orgânico (MARTINELLI et al., 2009).

Considerando-se esse contexto associado aos diversos processos da dinâmica de nutrientes e da MOS, o uso de isótopos estáveis são relevantes para o conhecimento e implementação de manejos para o uso racional de fertilizantes assim como o aproveitamento do N que é liberado dos resíduos de colheita.

No entanto, com o advento de espectrômetros de massas mais sensíveis, observou-se que quando o C passa de um estado físico-químico para outro, frequentemente ocorre uma discriminação entre os dois isótopos, ou seja, um isótopo muda de estado preferencialmente, ou mais rapidamente, em relação ao outro  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  (MARTINELLI et al., 2009; ALVES et al., 2006).

Para melhor entendimento os isótopos são espécies atômicas de um mesmo elemento químico que possuem massas diferentes, pelo fato de o número de nêutrons em seus núcleos serem distintos, ou seja, possuem o mesmo número de prótons (Z), mais diferem no número de nêutrons (N) no núcleo atômico. Uma vez que a massa atômica (A) é dada pela soma do número de prótons e do número de nêutrons, isótopos de um mesmo elemento terão diferentes valores de A (MARTINELLI et al., 2009).

As técnicas isotópicas representam uma ferramenta fundamental para contornar a escassez de experimentos de longa duração e permitir a obtenção de parâmetros de dinâmica da MOS. Inicialmente, utilizaram-se isótopos radioativos, em particular a abundância natural do C, amplamente utilizado em estudos paleontológicos. Entretanto, os elevados custos da determinação dos teores naturais de C em amostras de solo, em estudos de dinâmica da MOS, tornaram a técnica bastante restrita. Estudos utilizando materiais enriquecidos com C têm um custo menor e têm contribuído para o entendimento da dinâmica de frações mais lábeis da MOS e para a elucidação de processos específicos (MARTINELLI, et al., 2009; ALVES et al., 2006).

Martinelli et al. (2009), após uma coletânea de vários trabalhos, afirma que quando a vegetação predominante é do tipo  $\text{C}_3$  não havendo indício de mudança de vegetação em tempos remotos, o valor de  $\delta^{13}\text{C}$  da MOS sofre um aumento em direção às camadas mais profundas do solo sendo via de regra o aumento nos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  é de cerca de 3 a 4% entre a camada superficial e as camadas mais profundas, como é o caso de amostras de solos coletadas na região de Paragominas, no sul do Estado do Pará.

Isótopos  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  ‰ têm tido ampla aplicação na pesquisa científica, não somente por serem estáveis e, por isso, não oferecem riscos no manuseio, mas porque são isótopos de dois elementos de grande importância para o crescimento vegetal e que possuem os ciclos mais complexos nos sistemas agrícolas. Para isso o emprego de novas técnicas como a análise de isótopos estáveis tem sido utilizado a fim de complementar as análises clássicas de mensuração da fertilidade dos solos.

É válido ressaltar que os sistemas de produção instalados na Amazônia promovem a substituição da floresta por monocultivos e ou pastagens. Apesar disso, na Amazônia poucos são os trabalhos que evidenciam as alterações da composição isotópica do C nas substâncias húmicas do solo decorrente de mudanças de uso da terra (ARAUJO et al., 2011).

## 5. MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1. Área de estudo

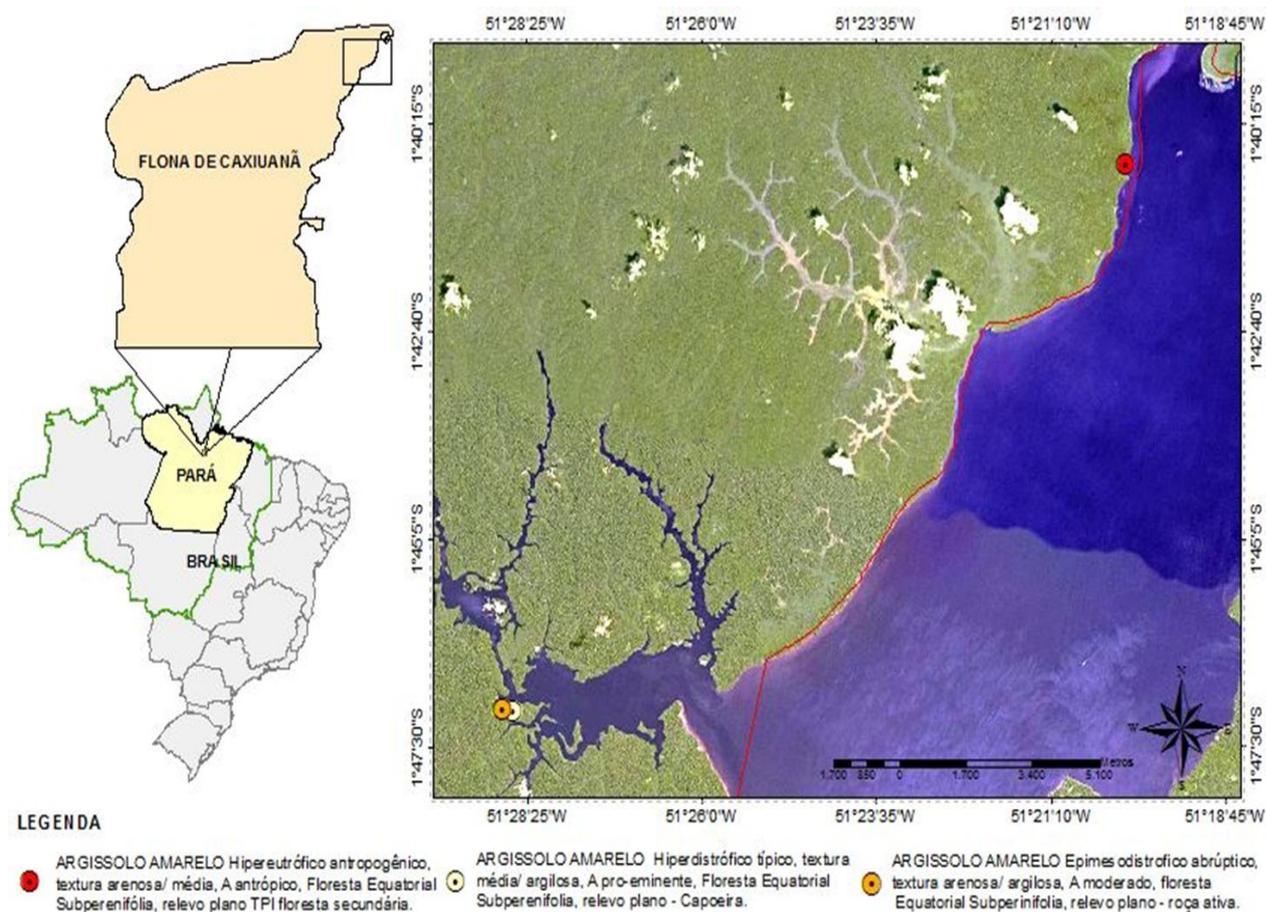
A Floresta Nacional de Caxiuanã (01°42'30"S e 51°31'45"W) é uma Unidade de Conservação de Uso Sustentável (Lei Nº 9.985 de 18 de julho de 2000 - SNUC), que ocupa uma área de 324 mil hectares, e está localizada na porção inferior da bacia do rio Anapu entre os rios Xingu e Tocantins, em terras dos municípios de Melgaço e Portel no Estado do Pará, Amazônia Oriental.

Caxiuanã possui um dos ambientes naturais mais bem conservados, sendo a vegetação de ocorrência de terra firme, várzea e de igapó, com manchas de savanas e vegetação secundária e seus rios são de águas negras, ricas em plantas aquáticas. Segundo a classificação de Köppen o clima é do tipo tropical quente e úmido e subtipo climático *Ami*, com estação seca entre julho a novembro e estação chuvosa de dezembro a junho (COSTA et al., 2009).

Segundo registro arqueológico há indicativo que nos séculos passados a região de Caxiuanã foi ocupada por índios, o que reforça algumas

características peculiares da população local. Sendo que atualmente é habitada por aproximadamente 600 pessoas as quais sobrevivem do extrativismo vegetal e animal associado a agricultura de subsistência (SILVA, 2010).

O referido estudo foi realizado na porção norte da FLONA de Caxiuanã, onde foram escolhidos como áreas de estudo três sistemas de manejo: Floresta Secundária (FS), Capoeira em regeneração (CP), e Roça com mandioca (RÇ) ( Figura 1).



**Figura 1.** Floresta Nacional de Caxiuanã - Estado do Pará – Autoria Rosa de Nazaré Paes da Silva e Marcelo Siqueira

## 5.2. Classificação taxonômica, análise física e química dos solos da área de estudo.

A fim de reconhecer os solos e os sistemas de manejo de ocorrência nas áreas escolhidas para o referido estudo, se fez necessário a abertura de perfil, classificação do solo e análise física e química das amostras coletadas de cada horizonte. Foram descritas as propriedades detectadas pelos sentidos da visão e tato (manuseio),

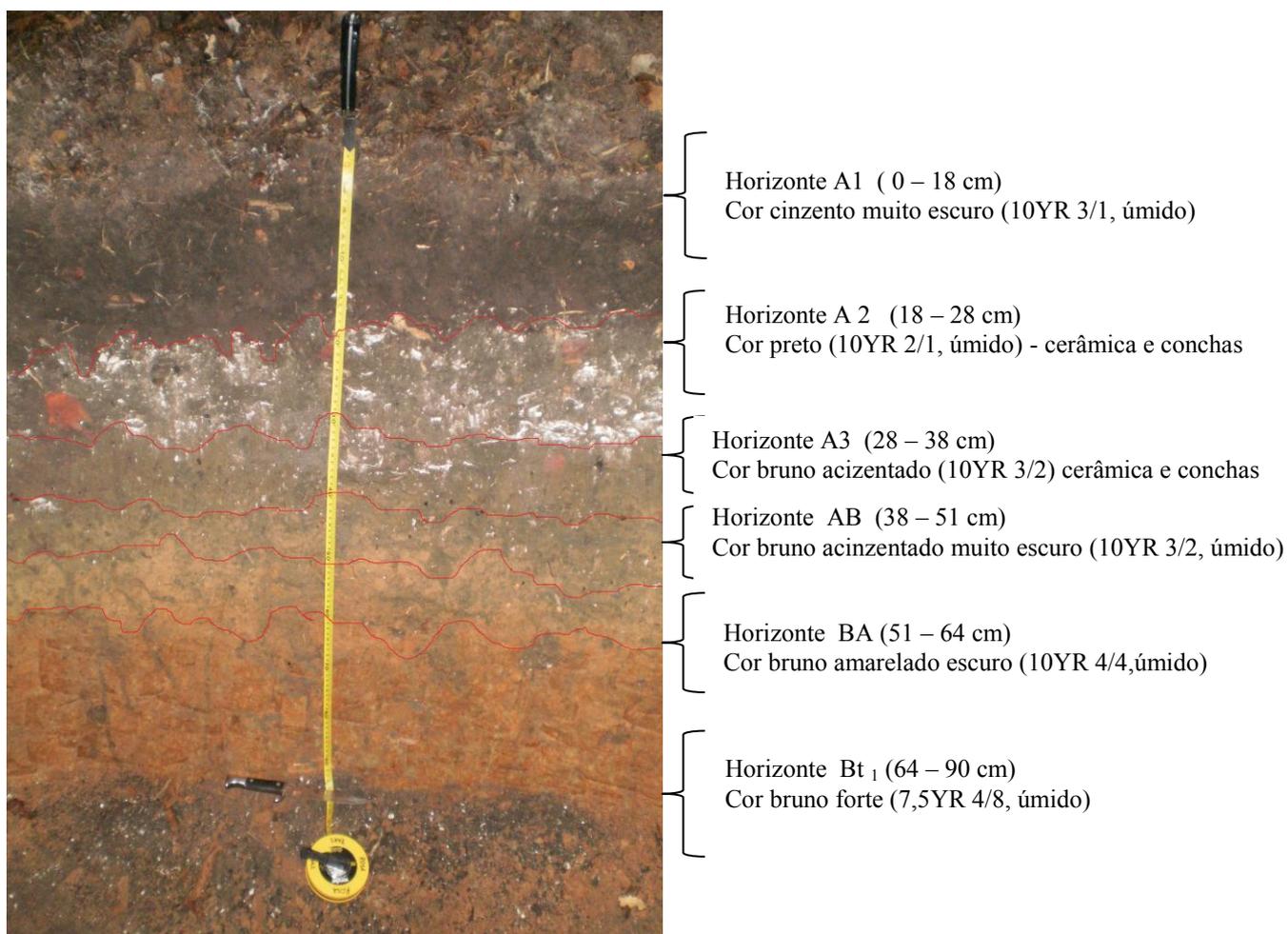
sendo: cor, textura, porosidade, consistência, transição entre horizontes e ou camadas. Tendo sido realizado a descrição de cada horizonte ou camada individualmente, seguido registro metodizado (SANTOS et al., 2005). Em seguida, foram coletadas amostras de cada horizonte para análise físico-química no Laboratório de Solos e Tecido Vegetal da EMBRAPA Oriental em Belém, PA.

Após a descrição morfológica foi identificado o grande grupamento dos Argissolos. Dentro destes foram classificadas taxonomicamente as seguintes classes:

- i. Argissolo Amarelo hipereutrófico antropogênico sob Floresta Secundária
- ii. Argissolo Amarelo hipereutrófico típico sob Capoeira
- iii. Argissolo Amarelo epimesodistrófico abruptico sob Roça

#### **5.2.1. Argissolo Amarelo hipereutrófico antropogênico sob Floresta Secundária**

A área denominada de sítio Mina I é resultante do uso agrícola realizado por populações passadas, atualmente não é mais utilizada para o cultivo, sendo classificada como Floresta Secundária sobre Terra Preta de Índio. Foi aberto um perfil de 90 cm de profundidade e descritas às características morfológicas, físicas e químicas deste perfil, tendo o solo sido classificado com Argissolo Amarelo hipereutrófico antropogênico sob Floresta Secundária conforme apresentado na Figura 2 e Tabela 1 e 2.



**Figura 2.** Argissolo Amarelo hipereutrófico antropogênico, textura arenosa/média, A antrópico, Floresta Equatorial Subperenifólia, relevo plano, sob Floresta Secundária sobre Terra Preta de Índio. Foto Rosa de Nazaré Paes da Silva

Tabela 1. Características morfológicas de ARGISSOLO AMARELO Hipereutrófico antropogênico, textura arenosa/média, A antrópico, Floresta Equatorial Subperenifólia, relevo plano na FLONA de Caxiuanã, PA (01°40'43,5"S e 51° 20'07,1"W). 38

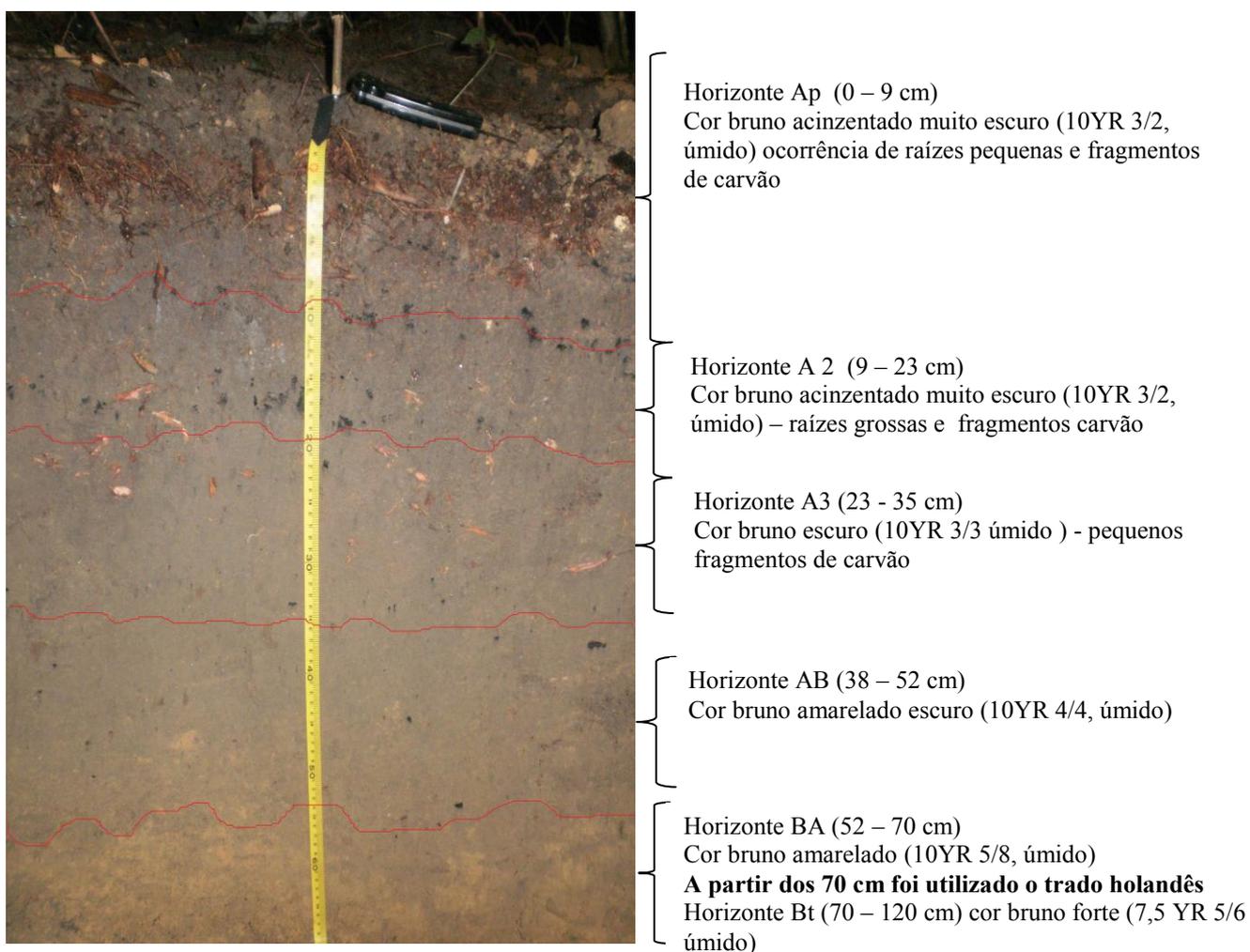
| Horizonte       | Prof. cm | Cores  | Textura        | Estrutura                              | Consistência   | Transição          |
|-----------------|----------|--|----------------|--|--|--------------------|
| A1              | 0 – 18   | Cinzeno muito escuro<br>(10 YR 3/1, úmido)           | franco         | fraca, pequena e média granular        | muito friável, não plástico e não pegajoso             | ondulada e clara   |
| A2              | 18 – 28  | Preto<br>(10 YR 2/1, úmido)                          | franco         | fraca, pequena e média granular        | muito friável, não plástico e não pegajoso             | ondulada e clara   |
| A3              | 28- 38   | Bruno acinzentado muito escuro<br>(10 YR 3/2, úmido) | franco         | fraca, pequena e média granular        | muito friável, não plástico e não pegajoso             | ondulada e difusa  |
| AB              | 38 – 51  | Bruno acinzentado muito escuro<br>(10 YR 3/2, úmido) | franco siltoso | fraca, pequena e média granular        | muito friável, não plástico e não pegajoso             | ondulada e clara   |
| BA              | 51- 64   | Bruno amarelado escuro<br>(10 YR 4/4, úmido)         | franco siltoso | fraca, pequena em blocos sub angulares | friável, não plástico e não pegajoso                   | ondulada e abrupta |
| Bt <sub>1</sub> | 64 – 90  | Bruno forte<br>(7,5 YR 4/8, úmido)                   | franco siltoso | fraca, pequena em blocos sub angulares | friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso | -                  |

Tabela 2. Características físicas e químicas de ARGISSOLO AMARELO Hipereutrófico antropogênico, textura arenosa/média, A antrópico, Floresta Equatorial Subperenifólia, relevo plano na FLONA de Caxiuanã, PA (01°40'43,5"S e 51°20'07,1"W).

| Horizonte | Prof. cm | areia | silte | argila             | silte/argila | pH       | C                  | P                   | K    | Na   | Ca    | Ca+Mg                  | Al   | H+Al | SB    | T     | V%  |
|-----------|----------|-------|-------|--------------------|--------------|----------|--------------------|---------------------|------|------|-------|------------------------|------|------|-------|-------|-----|
|           |          |       |       | g kg <sup>-1</sup> |              | água KCl | g kg <sup>-1</sup> | mg dm <sup>-3</sup> |      |      |       | cmolc dm <sup>-3</sup> |      |      |       |       |     |
| A1        | 0 - 18   | 503   | 397   | 100                | 4,0          | 6,5 5,8  | 37,60              | 444                 | 0,17 | 0,17 | 17,40 | 18,00                  | 0,00 | 1,98 | 18,34 | 20,32 | 90  |
| A2        | 18 - 28  | 490   | 410   | 100                | 4,1          | 6,6 6,0  | 44,25              | 1041                | 0,18 | 0,20 | 17,90 | 18,20                  | 0,00 | 2,31 | 18,58 | 20,89 | 89  |
| A3        | 28 - 38  | 471   | 449   | 80                 | 5,6          | 7,1 6,8  | 79,54              | 66                  | 0,19 | 0,30 | 15,70 | 16,00                  | 0,00 | 0,00 | 16,49 | 16,49 | 100 |
| AB        | 38 - 51  | 383   | 537   | 80                 | 6,7          | 7,4 6,9  | 17,51              | 495                 | 0,20 | 0,26 | 13,50 | 14,10                  | 0,00 | 0,00 | 14,55 | 14,55 | 100 |
| BA        | 51- 64   | 270   | 590   | 140                | 4,2          | 7,6 6,8  | 9,31               | 175                 | 0,10 | 0,08 | 11,20 | 11,60                  | 0,00 | 0,00 | 11,78 | 11,78 | 100 |
| Bt        | 64 - 90  | 149   | 571   | 280                | 2,0          | 7,7 6,5  | 3,77               | 46                  | 0,08 | 0,05 | 13,00 | 13,70                  | 0,10 | 0,00 | 13,84 | 13,84 | 100 |

### 5.2.2. Argissolo Amarelo hipereutrófico típico sob Capoeira

A área de Capoeira com 4 anos em pousio, foi cultivada com roça de mandioca e conforme, os tratos culturais utilizados no sistema de agricultura de subsistência a cada término de cultivo a área fica em pousio seguido de descanso. Na comunidade de Caxiuanã o tempo estimado pelos agricultores para que o solo recupere suas propriedades químicas varia de 3 a 5 anos. Nesta área foi aberto um perfil com 120 cm de profundidade e descrita as características morfológicas, físicas e químicas. O solo de ocorrência foi classificado como Argissolo Amarelo hipereutrófico típico, textura média/argilosa, A proeminente, Floresta Equatorial Subperenifólia, relevo plano, sob Capoeira em pousio de 4 anos conforme Figura 3 e Tabela 3 e 4.



**Figura 3.** Argissolo Amarelo hipereutrófico típico, textura média/argilosa, A proeminente, Floresta Equatorial Subperenifólia, relevo plano, sob Capoeira em pousio de 4 anos. Foto Rosa de Nazaré Paes da Silva.

Tabela 3. Características morfológicas de ARGISSOLO AMARELO Hiperdistrófico típico, textura média/argilosa, A pro-eminente, Floresta Equatorial Subperenifólia, relevo plano na FLONA de Caxiuanã, PA (01°47'06,5"S e 51°28'36,0"W).

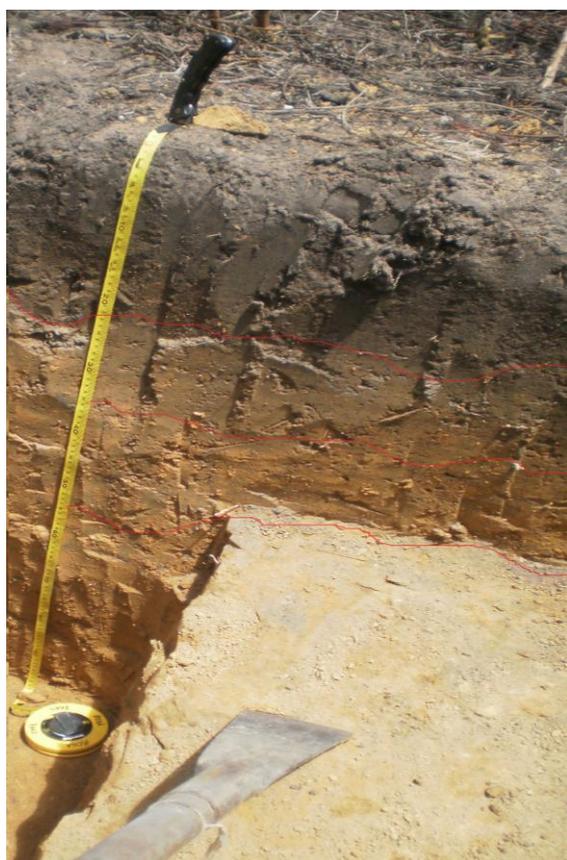
| Horizonte. | Prof. cm | Cores  | Textura               | Estrutura   | Consistência   | Transição       |
|------------|----------|--|-----------------------|---|--|-----------------|
| Ap         | 0 – 9    | Bruno acinzentado muito escuro<br>(10 YR 3/2, úmido) | areia franca          | fraca, pequena e média granular                           | muito friável, não plástico e não pegajoso             | plana e difusa  |
| A2         | 9 - 23   | Bruno acinzentado muito escuro<br>(10 YR 3/2, úmido) | franco argilo arenoso | fraca, pequena e média granular                           | friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso | plana e gradual |
| A3         | 23 -35   | Bruno escuro<br>(10 YR 3/3, úmido)                   | franco argilo arenoso | fraca a moderada, pequena e média em blocos sub angulares | friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso | plana e clara   |
| AB         | 35 -52   | Bruno amarelado escuro<br>(10 YR 4/4, úmido)         | argila arenosa        | fraca a moderada, pequena e média em blocos subangulares  | firme, plástico e pegajoso                             | plana e clara   |
| BA         | 52 - 70  | Bruno amarelado<br>(10 YR 5/8, úmido)                | argila                | moderada, pequena e média subangulares                    | firme, plástico e pegajoso                             | plana e abrupta |
| Bt         | 70 - 120 | Bruno forte<br>(7,5 YR 5/6, úmido)                   | argila                | coletado com trado  | plástico e pegajoso                                    | -               |

Tabela 4. Características físicas e químicas de ARGISSOLO AMARELO Hiperdistrófico típico, textura média/argilosa, A pro-eminente, Floresta Equatorial Subperenifólia, relevo plano na FLONA de Caxiuanã, PA (01°47'06,5" S e 51°28'36,0"W).

| Horizonte | Prof. cm | areia | silte | argila | silte/<br>argila | pH   |     | C     | P | K    | Na   | Ca   | Ca+Mg | Al   | H+Al  | SB   | T     | V% |
|-----------|----------|-------|-------|--------|------------------|------|-----|-------|---|------|------|------|-------|------|-------|------|-------|----|
|           |          |       |       |        |                  | água | KCl |       |   |      |      |      |       |      |       |      |       |    |
| Ap        | 0 – 9    | 843   | 37    | 120    | 0,3              | 4,3  | 3,4 | 22,22 | 8 | 0,11 | 0,06 | 0,80 | 1,40  | 1,30 | 10,40 | 1,57 | 11,97 | 13 |
| A2        | 9 – 23   | 670   | 110   | 220    | 0,5              | 4,3  | 3,6 | 21,34 | 7 | 0,07 | 0,04 | 0,40 | 0,90  | 2,00 | 12,05 | 1,02 | 13,07 | 8  |
| A3        | 23 -35   | 576   | 144   | 280    | 0,5              | 5,2  | 4,0 | 11,81 | 1 | 0,03 | 0,02 | 0,40 | 0,70  | 1,60 | 6,77  | 0,75 | 7,52  | 10 |
| AB        | 35 -52   | 550   | 70    | 380    | 0,2              | 5,0  | 4,0 | 9,92  | 1 | 0,03 | 0,02 | 0,30 | 0,60  | 1,50 | 4,29  | 0,65 | 4,94  | 13 |
| BA        | 52 – 70  | 402   | 18    | 580    | 0,0              | 4,8  | 4,0 | 5,57  | 1 | 0,03 | 0,07 | 0,40 | 0,60  | 1,50 | 2,97  | 0,70 | 3,67  | 19 |
| Bt        | 70 – 120 | 382   | 58    | 560    | 0,1              | 4,9  | 4,1 | 3,97  | 1 | 0,04 | 0,09 | 0,30 | 0,60  | 1,50 | 2,15  | 0,73 | 2,88  | 25 |

### 5.2.3. Argissolo Amarelo epimesodistrófico abruptico sob Roça

Os plantios são “levantados”<sup>1</sup> com mandioca (*Manihot esculenta Crantz*) consorciadas com jerimum (*Curcubita maxima*), maxixe (*Cucumis anguria L.*), milho (*Zea mays L.*) e melancia (*Citullus lanatus*). Esse tipo de cultivo também pode ser denominado de lavoura branca ou de subsistência. O preparo da área consiste no corte, derruba, queima e coivara tendo como principal ferramenta o fogo. O trato cultural durante a manutenção do roçado é limitado a capina e amontoa com auxílio de enxada. Foi aberto um perfil com 100 cm de profundidade e descrita às características morfológicas, físicas e químicas tendo o solo sido classificado como Argissolo Amarelo epimesodistrófico abruptico, textura arenosa/argilosa, A moderado, Floresta Equatorial Subperenifólia, relevo plano, sob roçado ativo com plantio de mandioca conforme Figura 4 e Tabelas 5 e 6.



- Horizonte Ap ( 0 – 24 cm)  
Cor bruno acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmido)
- Horizonte A 2 (24 - 38 cm)  
Cor Bruno Escuro (10YR 4/3, úmido)
- Horizonte A3 (38 - 63 cm)  
Cor Bruno Escuro (10YR 5/6 úmido)
- Horizonte AB (63 - 100 cm)  
Cor Bruno Amarelado (10YR 5/8, úmido)

**Figura 4.** Argissolo Amarelo Epimesodistrófico abruptico, textura arenosa/argilosa, A moderado, floresta Equatorial Subperenifólia, relevo plano na FLONA de Caxiuanã – PA, 2011 Foto Rosa de Nazaré Paes da Silva

<sup>1</sup> Atividade referente ao preparo da área para instalação de cultivo agrícola

Tabela 5. Características morfológicas de ARGISSOLO AMARELO Epimesodistrófico abruptico, textura arenosa/argilosa, A moderado, Floresta Equatorial Subperinifólia, relevo plano na FLONA de Caxiuanã, PA (01°47'05,0"S e 51°28'44,0"W).

| Horizonte | Prof. cm | Cores   | Textura         | Estrutura   | Consistência   | Transição       |
|-----------|----------|---|-----------------|---|--|-----------------|
| Ap        | 0 – 24   | Bruno acinzentado muito escuro<br>(10 YR 3/2 , úmido) | franco arenoso  | fraca, pequena e média granular                   | muito friável, não plástico e não pegajoso           | plana e clara   |
| BA        | 24 – 38  | Bruno escuro<br>(10 YR 4/3, úmido)                    | franco argiloso | moderada, pequena e média em blocos sub angulares | firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso | plana e gradual |
| Bt1       | 38 - 63  | Bruno amarelado<br>(10 YR 5/6, úmido)                 | argila          | moderada, pequena e média em blocos sub angulares | firme, plástico e pegajoso                           | plana e difusa  |
| Bt2       | 63 - 100 | Bruno amarelado<br>(10 Y/R 5/8, úmido)                | argila          | moderada, pequena e média em blocos sub angulares | firme, plástico e pegajoso                           | -               |

Tabela 6. Características físicas e químicas de ARGISSOLO AMARELO Epimesodistrófico abruptico, textura arenosa/argilosa, A moderado, Floresta Equatorial Subperinifólia, relevo plano na FLONA de Caxiuanã, PA (01°47'05,0"S e 51°28'44,0"W).

| Horizonte | Prof. cm | g kg <sup>-1</sup> |       |        |              | pH   |     | C g kg <sup>-1</sup> | P mg dm <sup>-3</sup> | K    | Na   | Ca   | cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> |      |      | SB   | T    | V% |
|-----------|----------|--------------------|-------|--------|--------------|------|-----|----------------------|-----------------------|------|------|------|------------------------------------|------|------|------|------|----|
|           |          | areia              | silte | argila | silte/argila | água | KCl |                      |                       |      |      |      | Al                                 | H+Al |      |      |      |    |
| Ap        | 0 - 24   | 732                | 148   | 120    | 1,2          | 4,8  | 4,2 | 16,97                | 3                     | 0,04 | 0,03 | 1,90 | 2,60                               | 0,40 | 2,81 | 2,67 | 5,48 | 49 |
| BA        | 24 - 38  | 390                | 270   | 340    | 0,8          | 5    | 4,1 | 8,35                 | 1                     | 0,04 | 0,03 | 0,80 | 1,20                               | 0,90 | 2,31 | 1,26 | 3,57 | 35 |
| Bt1       | 38 - 63  | 410                | 150   | 440    | 0,3          | 5,1  | 4,2 | 5,74                 | 14                    | 0,03 | 0,02 | 0,80 | 1,10                               | 0,70 | 1,65 | 1,14 | 2,79 | 41 |
| Bt2       | 63 - 100 | 365                | 175   | 460    | 0,4          | 5,1  | 4,2 | 5,30                 | 10                    | 0,03 | 0,02 | 0,70 | 1,00                               | 0,70 | 2,97 | 1,04 | 4,01 | 26 |

### **5.3. Coleta, preparo e análise de amostras de solo da área de estudo na FLONA de Caxiuanã.**

Após a classificação taxonômica e caracterização física e química dos solos de ocorrência sob os sistemas de manejo do tipo: Floresta Secundária, Capoeira e Roçado ativo, foram realizadas as coletas de amostra de solos na profundidade efetiva tendo sido subdividida em 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm.

Delimitou-se 9 (nove) parcelas de 3 x 3m (9 m<sup>2</sup>), as quais correspondem a 9 repetições. De cada parcela e nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm, foram coletadas com trado holandês quatro amostras simples para formar uma composta totalizando 108 amostras de solo.

Conforme Silva (2009) as amostras foram secas, destorroadas, separadas das frações do solo por tamização e homogeneização da fração < 2mm, denominada “Terra Fina Seca ao Ar” (TFSA), que foi usada para as determinações. Em seguida foram, realizadas as análises granulométricas, de fertilidade (macro e micro nutriente) e composição isotópica de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ .

#### **5.3.1. Atributo físico – Granulometria.**

A determinação do atributo físico dos solos é realizada através dos métodos de campo e laboratório. No método de campo usa-se o tato para a identificação da classe textural avaliando-se a plasticidade e pegajosidade, seguido do método em laboratório utilizando-se o diagrama textural no qual se aplicam os dados de porcentagem de areia, silte e argila, obtida por meio de análise textural ou mecânica (FREIRE, 2006 e SANTOS et al., 2005).

Para a análise granulométrica ou dispersão total utilizou-se o método da pipeta, que baseia-se no princípio da velocidade de queda das partículas que compõem o solo. Fixa-se o tempo para o deslocamento vertical na suspensão do solo com água, após a adição de um dispersante químico.

Pipeta-se um volume da suspensão, para determinação da argila. Em seguida as frações grosseiras (areia fina e grossa) são separadas por tamisação, secas em estufa e pesadas para obtenção dos respectivos percentuais, o silte corresponde à fração intermediária entre a areia total e argila (EMBRAPA, 1997).

Após os resultados obtidos em laboratório, calcularam-se os valores das frações de areia fina, areia grossa, silte e argila respectivamente de acordo com as seguintes equações:

- Teor de areia total =  $\sum$  Teor de areia fina (g) + Teor de areia grossa (g) (1)

- Teor de silte =  $1.000 - [\text{argila (g)} + \text{areia fina (g)} + \text{areia grossa (g)}]$  (2)

- Teor de argila =  $[\text{argila (g)} + \text{dispersante (g)}] - \text{dispersante (g)} \times 1.000$  (3)

### 5.3.2. Estoque de carbono

O estoque de carbono ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) de cada parcela foi calculado utilizando o teor de carbono orgânico ( $\text{g Kg}^{-1}$ ), densidade do solo ( $\text{g m}^{-3}$ ) e a profundidade (m), fazendo uso da equação 4 (BERNOUX et al., 1998).

$$E = D_s * h * C \quad (4)$$

onde:

E = estoque de carbono do solo ( $\text{mg ha}^{-1}$ );

$D_s$  = densidade do solo ( $\text{g m}^{-3}$ );

H = espessura da camada amostrada (m);

C = teor de carbono do solo ( $\text{g kg}^{-1}$ ).

### 5.3.3. Determinação isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ estáveis e concentrações de C e N total.

O carbono ocorre na natureza sob três formas isotópicas, sendo duas estáveis,  $^{12}\text{C}$  e  $^{13}\text{C}$ , e uma radioativa,  $^{14}\text{C}$ , numa proporção média no planeta de 100:1, 1:10, respectivamente. Em relação ao nitrogênio, pode-se dizer que qualquer material existente na natureza que possui nitrogênio em sua constituição, apresentará uma proporção de 0,3663% de átomos de  $^{15}\text{N}$  em relação ao total de átomos de N, que, em sua maioria, é composto do isótopo  $^{14}\text{N}$ . Este valor é conhecido como abundância natural de  $^{15}\text{N}$ . O isótopo  $^{15}\text{N}$  tem grande aplicação para o estudo da contribuição do N oriundo da decomposição de resíduos orgânicos para a nutrição das plantas, o que pode ser feito através da marcação do solo ou da planta que vai gerar o resíduo, como, por exemplo, um adubo verde (ALVES et al., 2008).

As análises isotópicas serviram para identificar a origem da matéria orgânica através do  $\delta^{13}\text{C}$  e a fixação biológica do nitrogênio através da determinação do  $\delta^{15}\text{N}$ , o preparo e análise das amostras seguiu o protocolo utilizado no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) da Universidade de São Paulo (USP).

As amostras foram pesadas em cápsulas de estanho, sub-amostras contendo 6 mg de solo das camadas de 0 a 5 e 10 a 20 cm, e 10 mg de solo das camadas de 5 a 10 e 20 a 30 cm. Estas foram introduzidas em um analisador elementar (Carlo Erba EA 1110 CHNS, CE Instruments). A determinação da concentração de N e C total foi realizada através da combustão das amostras. O gás proveniente da combustão é carregado em um fluxo de hélio por uma coluna cromatográfica e introduzido diretamente em um espectrômetro de massa para razões isotópicas (Delta Plus, Thermo Quest – Finnigan). A abundância natural de  $^{15}\text{N}$  e  $^{13}\text{C}$  é expressa como desvios por mil (‰) de um padrão primário através da equação: (MARTINELLI et al., 2009).

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{amostra}} (\text{‰}) = \left[ \frac{R_{\text{amostra}} - R_{\text{PDB}}}{R_{\text{PDB}}} \right] \times 1000$$

Onde:

$R_{\text{amostra}}$  é a razão isotópica  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  da amostra e

$R_{\text{padrão}}$  é a razão isotópica  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  do padrão.

O padrão é a rocha calcária da Formação Pee Dee Belemite - PDB.

$$\delta^{15}\text{N}_{\text{amostra}} (\text{‰}) = \left[ \frac{R_{\text{amostra}} - R_{\text{ar atm}}}{R_{\text{ar atm}}} \right] \times 1000$$

Onde:

$R_{\text{amostra}}$  é a razão isotópica  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  da amostra e

$R_{\text{padrão}}$  é a razão isotópica  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  do padrão.

O padrão é a abundância de  $^{15}\text{N}$  no ar atmosférico.

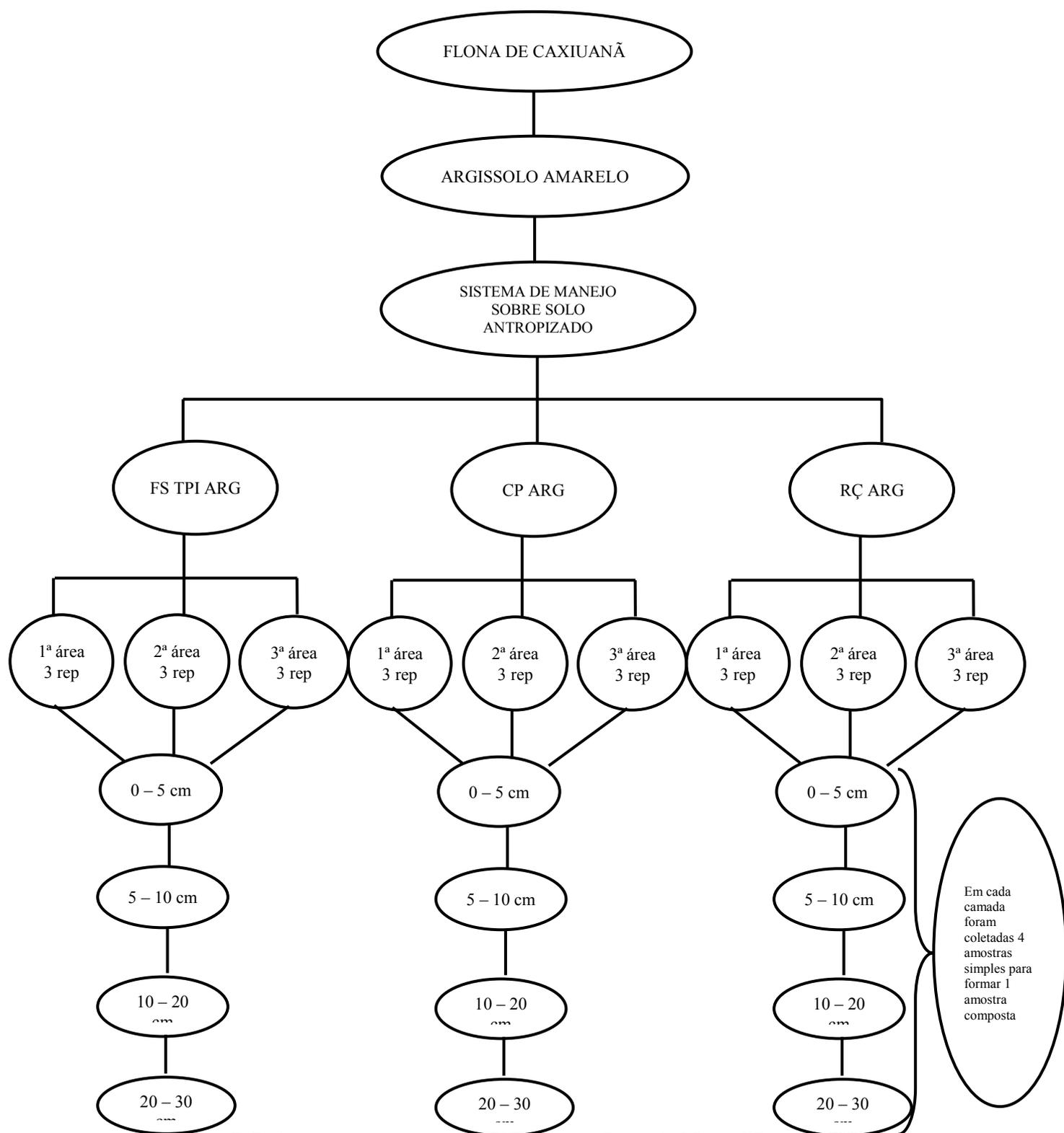
#### **5.3.4. Atributos químicos para parâmetro de fertilidade**

A análise química para pH em H<sub>2</sub>O foi realizada através da medição eletroquímica da concentração efetiva de ions H<sup>+</sup> na solução do solo, por meio de eletrodo combinado, imerso em suspensão solo/água na proporção de 1:2,5. O teor de Carbono Orgânico (C) foi determinado pelo método volumétrico do dicromato de potássio, as análises de Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Sódio (Na), Soma de bases (SB), Acidez total (H+Al<sup>3+</sup>), Acidez trocável (Al<sup>3+</sup>) foram extraídos com solução de Mehlich 3. Todas as análises seguiram o protocolo da EMBRAPA (1997, 2009) tendo sido realizadas no Laboratório de Análises de Solos e Tecidos da EMBRAPA em Belém do Pará. Os cálculos para matéria orgânica do solo (MOS), Capacidade de Troca de Cátions (CTC), Capacidade de Troca Efetiva (CTC ef), Saturação por bases (V%) e Saturação por alumínio (m%) foram realizados conforme Raij (2011).

Os valores de pH em ClCa<sub>2</sub> e os teores para os micronutrientes Boro (B), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Zinco (Zn), foram obtidos através de extração por resina conforme protocolo descrito por RAIJ (2001). Os procedimentos analíticos foram realizados no Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus Botucatu, Estado de São Paulo.

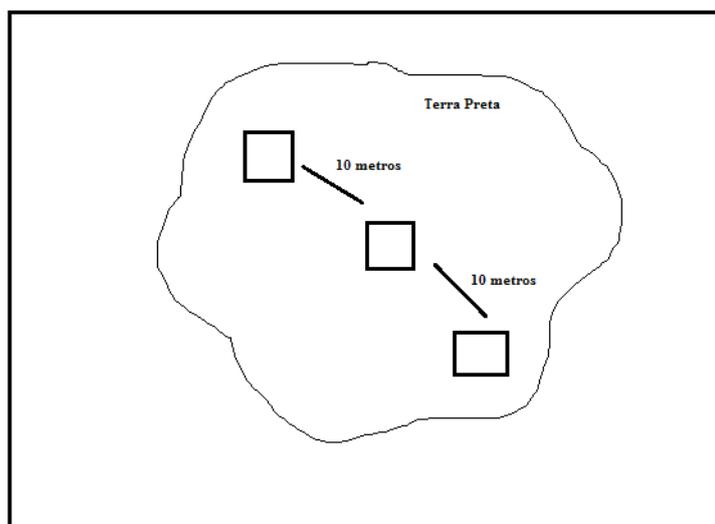
#### **5.4. Delineamento Experimental e análise estatística**

Para o delineamento do ensaio exploratório considerou-se o princípio estatístico da casualização, com um esquema fatorial 3 x 4, sendo 3 - Sistemas de Manejo e 4 - Profundidades. Dentro de cada sistema de manejo foram delimitadas 3 parcelas com 10 metros de distância entre si. Em cada parcela foram coletadas 4 amostras simples para formar uma amostra composta em 4 profundidades, como segue: 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm. Totalizando 108 amostras de solos. (PIMENTEL GOMES; GARCIA, 2002) (Figura 5 e 6).



**Figura 5.** Delineamento experimental – Autora Rosa de Nazaré Paes da Silva

Os resultados analíticos foram analisados através do programa estatístico SISVAR seguido da análise de variância conjunta pelo teste F e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (FERREIRA, 2007).



**Figura 6.** Parcelas dentro do sistema de manejo,

## **6. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **6.1. Atributo físico do solo – Análise granulométrica.**

A Tabela 7 apresenta o resumo da análise de variância referente à granulometria e os resultados apresentaram diferenças significativas nos sistemas de manejo sobre solo antropizado, na camada da profundidade efetiva do solo e na interação entre eles. Os valores médios de areia, silte e argila foram respectivamente de 667,82; 180,61 e 151,57 g kg<sup>-1</sup>.

Os resultados obtidos para a variável areia foram superiores em Argissolo sob capoeira (ARGI CP) seguido de Terra Preta sobre Argissolo Amarelo sob Floresta Secundária (TPI/ARGI FS) e Argissolo Amarelo sob Roça. Os teores de silte foram diferentes significativamente entre as três áreas sendo em ordem crescente ARGI CP < TPI/ARGI FS < ARGI RÇ. E os valores de argila foram maiores em TPI/ARGI FS < ARGI RÇ < ARGI CP (Figura 7).

Tabela 7. Resumo da análise de variância para os teores de areia, silte e argila em solo antropizado formado sobre Argissolo Amarelo na profundidade efetiva do solo e interação entre eles na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA.

| Fonte de variação                              | GL | g kg <sup>-1</sup> |        |        |
|--|----|--------------------|--------|--------|
|  |    | Areia              | Silte  | Argila |
| Sistema de manejo sob solo antropizado (SMSA)  | 2  | **                 | **     | **     |
| Camada da profundidade efetiva do solo (Prof.) | 3  | **                 | **     | **     |
| Interação (SMSA x Prof.)                       | 6  | **                 | **     | **     |
| CV (%)   | -  | 4,36               | 15,13  | 10,83  |
| Média geral                                    | -  | 667,82             | 180,61 | 151,57 |
| DMS  | -  | 16,36              | 15,36  | 8,80   |

GL: grau de liberdade; CV: coeficiente de variação; DMS: diferença mínima significativa; \*\* significativo ao nível de 5% de probabilidade e não significativo (ns) pelo teste de Tukey.

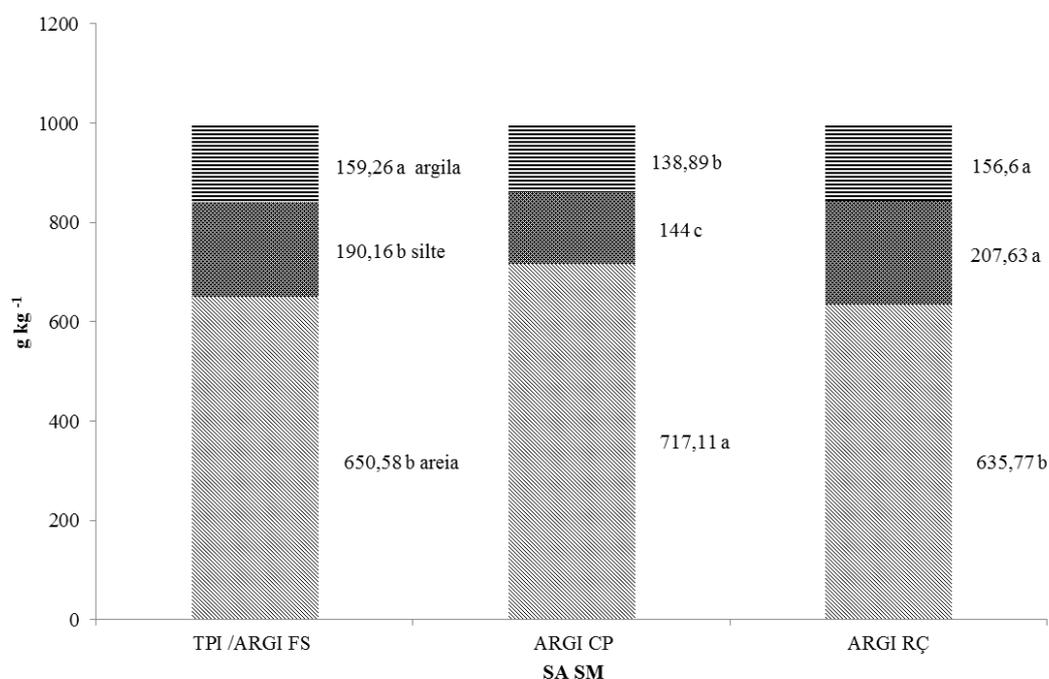


Figura 7. Teor de areia, silte e argila (g kg<sup>-1</sup>) em Terra Preta de Índio formada sobre um Argissolo Amarelo sob floresta secundária (TPI/ARGI FS); Argissolos Amarelo sob capoeira (ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob roça (ARGI RÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA.

Comparando os resultados obtidos para o teor de areia neste trabalho, com o estudo realizado por Monteiro et al. (2009), em duas áreas experimentais com cultivo de Paricá (*Schizolobium amazonicum*), a qual teve por objetivo criar um solo

antropizado a partir da adição de resíduo de madeira, observou-se que a área onde foi incorporado lâminas de madeira, ao horizonte A apresentou-se mais espesso, escuro e arenoso, quando comparado com o mesmo horizonte da área que não recebeu o tratamento com resíduo de madeira.

No solo recoberto com resíduo de madeira, verificou-se que nos horizontes A e AB, a fração de areia é o principal componente com valores aproximados de  $500 \text{ g kg}^{-1}$ , sendo que à medida que aumentava a camada esses valores diminuíram alcançando  $200 \text{ g kg}^{-1}$ .

Teixeira et al. (2009), estudando diferentes áreas de Terra Preta, afirmaram que a predominância da textura mais arenosa está relacionada ao uso do fogo e da disponibilidade de material orgânico. Estes, quando combinados, originam partículas organo-minerais estáveis e equivalentes ao tamanho da fração de areia. Da mesma forma, a maior dispersão, destruição e remoção das partículas de argila nos camadas antrópicos das TPI também contribui para o aumento da fração areia.

Barros et al. (2012), analisaram o fracionamento químico da matéria orgânica seguido da caracterização física de três áreas de TPI localizadas em Caxiuanã, e observaram que na camada de 2 a 10 cm os teores de areia em uma área chamada de sítio Mina I, caracterizada como capoeira em pousio de 25 anos, foi de  $454 \text{ g kg}^{-1}$ ; no sítio Mina II, uma capoeira de 30 anos em pousio, apresentou um valor de  $737 \text{ g kg}^{-1}$ ; e no sítio Manduquinha, com vegetação secundária de aproximadamente 10 anos em pousio, encontrou o valor de  $539 \text{ g kg}^{-1}$ , sendo estes resultados semelhantes aos encontrados neste trabalho.

Corroborando, Teixeira et al. (2009) ao estudarem Terra Preta de Índio formada sobre Argissolo em três municípios no Estado do Amazonas, observaram que em área de capoeira os valores médios de areia foram de  $587,33 \text{ g kg}^{-1}$ , diferente do ocorrido com teor de silte o qual apresentou o valor de  $103,33 \text{ g kg}^{-1}$  e o teor de argila com  $309,33 \text{ g kg}^{-1}$ . O mesmo autor encontrou em áreas cultivadas um teor de  $762 \text{ g kg}^{-1}$  de areia,  $67,5 \text{ g kg}^{-1}$  silte e  $170,5 \text{ g kg}^{-1}$  de argila.

Neves Junior (2008) observou que a TPI apresenta uma elevada porosidade estrutural, condicionando principalmente teores de água mais elevados na capacidade de campo, o que resulta em uma melhor qualidade física do solo, favorecendo o crescimento de plantas.

Com isso, os altos teores de areia são resultantes do sistema não tecnificado, no qual ainda se utiliza o fogo como principal forma de preparo de área para o cultivo agrícola. Sendo que o tempo de pousio, não interfere diretamente nos teores de areia, sendo que a relação entre altos teores de areia e a disponibilidade de matéria orgânica do solo (MOS) é um fator relevante para a avaliação da fertilidade natural dos solos com camada A antrópico. Possivelmente os agregados desses solos encontram-se mais estabilizados, o que favorece a reação entre a MOS e o teor de areia disponível.

Com isso, obtém-se uma maior e melhor infiltração e retenção de água; agregação das partículas do solo; aeração; estabilização da estrutura do solo; disponibilidade de água e nutrientes para as plantas, favorecendo a absorção pelas raízes; e aquecimento do solo o qual altera a sua cor, principalmente na camada superficial favorecendo uma melhor condição de campo para o cultivo agrícola e a manutenção da fertilidade natural das TPI.

Os resultados obtidos para a camada de 5 a 10 cm em ARGÍ CP apresentaram um teor de areia superior ao observado em TPI/ARGÍ FS e ARGÍ RÇ. Os resultados obtidos em ARGÍ CP e TPI/ARGÍ FS para a camada de 10 a 20 cm apresentaram teores de areia semelhantes entre si e inferiores aos teores observados em ARGÍ RÇ. Diferente do ocorrido na camada de 20 a 30 cm, ARGÍ RÇ e TPI/ARGÍ FS apresentaram teores de areia estatisticamente semelhantes entre si e inferiores aos teores observados em ARGÍ ARGÍ CP, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade (Figura 8 a).

Nas camadas de 5 a 10 e de 10 a 20 cm em TPI/ARGÍ FS e ARGÍ CP os teores de silte foram estatisticamente inferiores do observado em ARGÍ RÇ. Semelhante ao observado nas camadas de 0 a 5 e 20 a 30 cm, em TPI/ARGÍ FS e ARGÍ RÇ que apresentaram teores de silte estatisticamente superiores aos teores encontrados em área de ARGÍ CP (Figura 8 b).

Estatisticamente houve efeito significativo em TPI/ARGÍ FS, ARGÍ CP e ARGÍ RÇ no teor de argila na camada de 0 a 5 cm. A camada de 5 a 10 cm em TPI/ARGÍ FS apresentou teores de argila superiores aos observados em ARGÍ CP e ARGÍ RÇ. A camada de 10 a 20 cm em TPI/ARGÍ FS apresentou teores de argila estatisticamente diferente dos observados em ARGÍ CP e ARGÍ RÇ, sendo que estes diferiram entre si. Diferente do ocorrido, na camada de 20 a 30 cm TPI/ARGÍ FS, ARGÍ CP e ARGÍ RÇ apresentaram teores de argila estatisticamente semelhantes entre si (Figura 8 c).

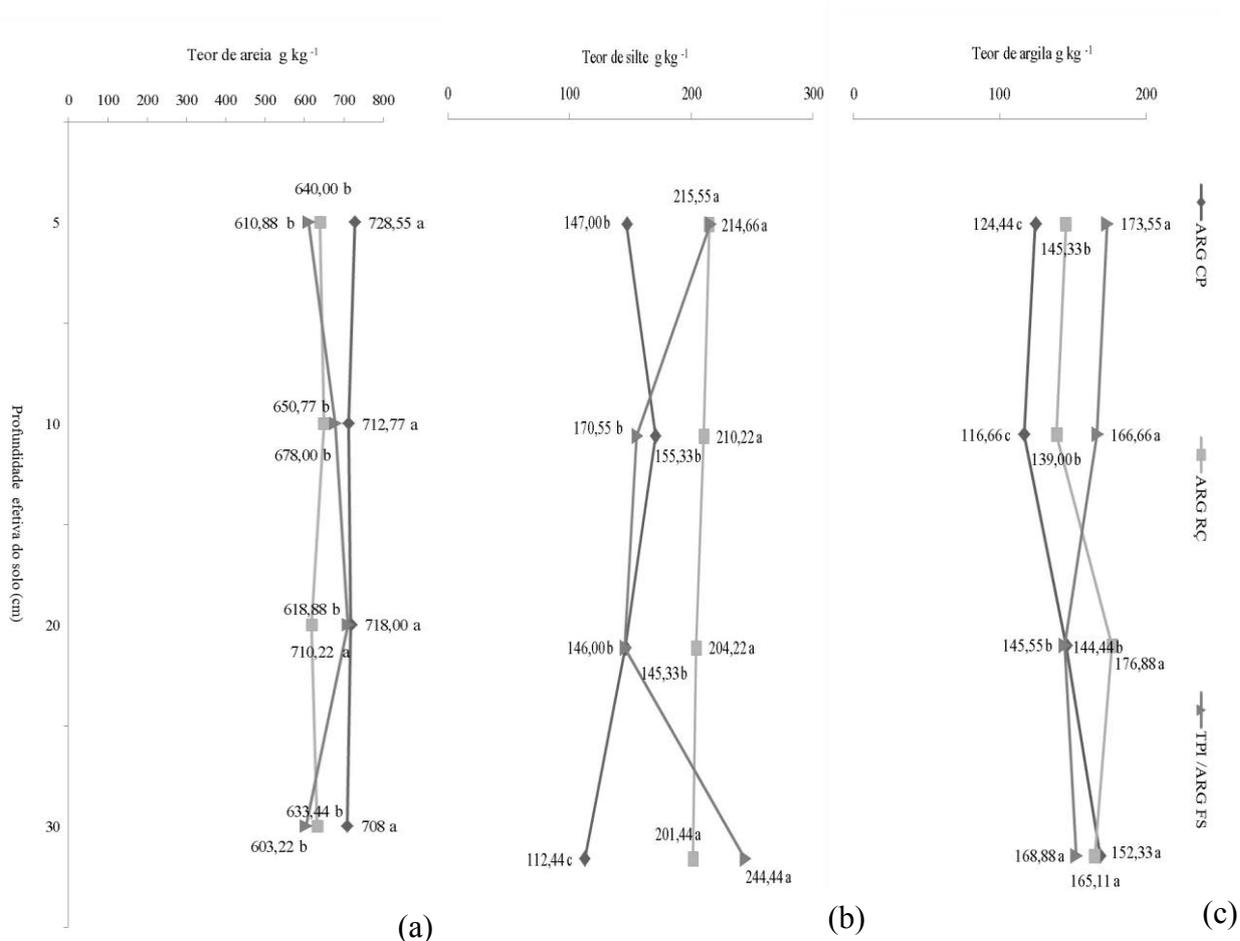


Figura 8. Teor de areia (a), silte (b) e argila (c) g kg<sup>-1</sup> na camada da profundidade efetiva do solo em Terra Preta de Índio formada sobre um Argissolo Amarelo sob floresta secundária (TPI/ARGI FS); Argissolos Amarelo sob capoeira (ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob roça (ARGI RÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA. .

Silva et al. (2012), observaram que no perfil do horizonte A antrópico (TPI) e dois perfis adjacentes (ADJ1) e (ADJ2) formados sobre Argissolo, ocorreu a predominância da fração areia sobre as frações mais finas (silte e argila), sendo os teores de areia na camada de 0 a 3 cm de 885 g kg<sup>-1</sup>; 3 a 33 cm de 859 g kg<sup>-1</sup> e de 33 a 42 cm de 824 g kg<sup>-1</sup>. Na área de ADJ1 localizada a 160 m de distância da TPI, os teores de areia nas camadas de 0 a 11, 11 a 25 e 25 a 40 cm foram de 709, 645 e 576 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, e na área ADJ2 distante 280 m da TPI, os valores de areia nas camadas de 0 a 10, 11 a 22 e 23 a 32 cm foram de 647, 557 e 535 g kg<sup>-1</sup>.

A análise de regressão indicou que à medida que se aumenta a profundidade, diminui o teor de areia em ARGI CP (722,08 g kg<sup>-1</sup>) seguido, de TPI/ARGI FS (657,30 g kg<sup>-1</sup>) e ARGI RÇ (646,21 g kg<sup>-1</sup>). Sendo que os teores de silte foram decrescentes a medida que aumentava a profundidade na TPI/ARGI FS e ARGI RÇ

respectivamente 167,68 e 216,15 g kg<sup>-1</sup>. Para os teores de argila em TPI/ARGI FS na camada de 5 a 10 cm ocorreu a redução diferente do ocorrido nas áreas de ARGI CP e ARGI RÇ (Figura 9 a, b, c).

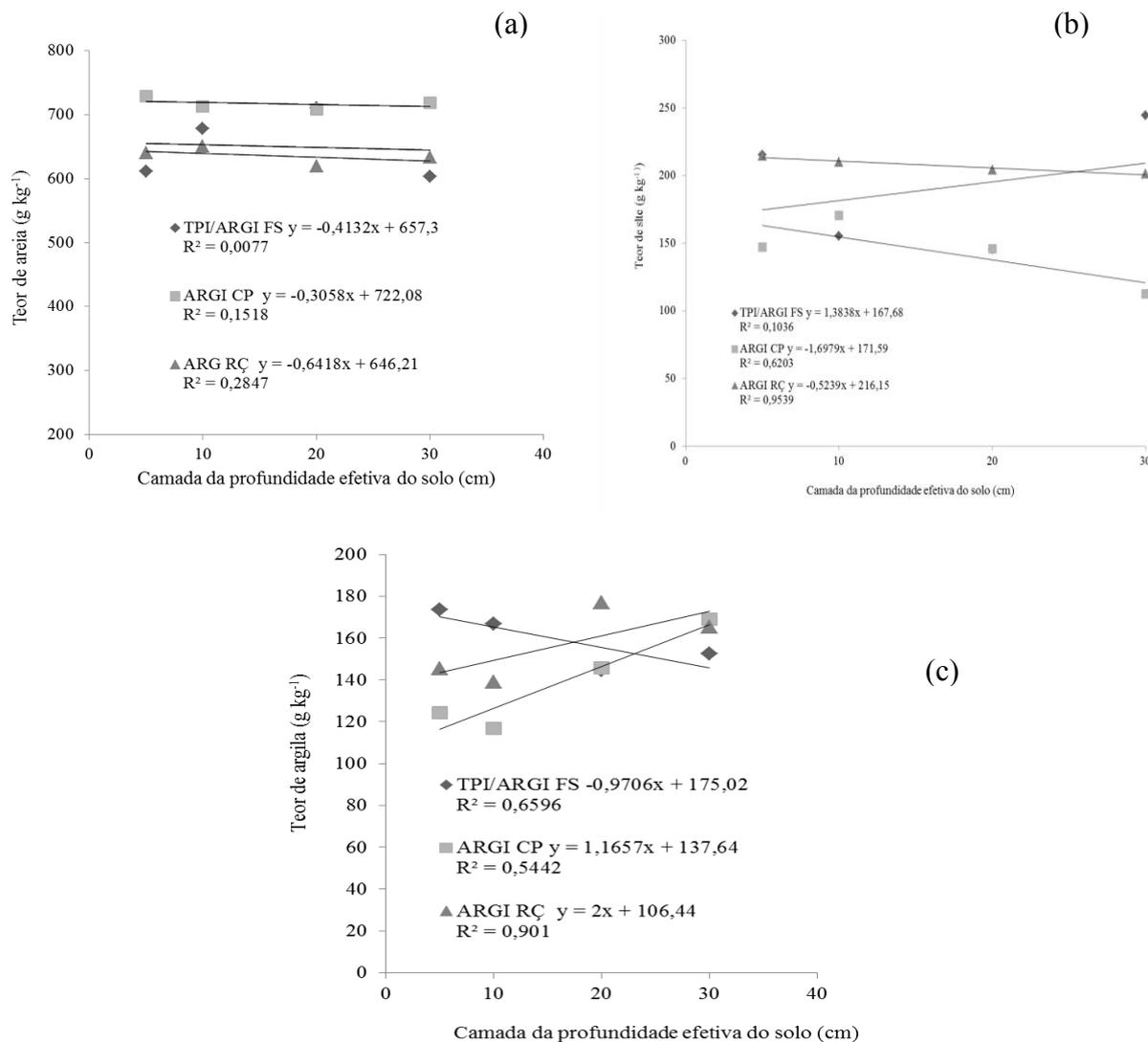


Figura 9. Teor de areia (a), silte (b) e argila (c) (g kg<sup>-1</sup>) em função da camada da profundidade efetiva do solo e do área em Terra Preta de Índio formada sobre um Argissolo Amarelo sob Floresta secundária (TPI/ARGI FS), Argissolo Amarelo sob Capoeira ( ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob roça ( ARGI RÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA.

Corroborando, Silva et al. (2012), estudando sítio arqueológico de TPI no município de Bom Jesus do Tocantins, PA, encontraram teores de silte nas camadas de 0 a 3 cm (96 g kg<sup>-1</sup>), 3 a 33 cm (116 g kg<sup>-1</sup>) e 33 a 42 cm (126 g kg<sup>-1</sup>). Para as áreas adjacentes foi observado à medida que aumenta a distância entre áreas com manchas

de TPI das áreas de transição (chamadas de Terra Mulata) e áreas adjacentes, aumenta o teor de silte. Barros et al. (2012) observaram em que áreas em pousio denominadas de sítios arqueológicos de TP localizados em Caxiuanã com idade média de 25 a 30 anos, os teores de silte variaram entre 394 a 140 g kg<sup>-1</sup>.

Em um Argissolo Amarelo distrófico antropogênico o teor de silte foi de 150 g kg<sup>-1</sup> na camada de 0 a 8 cm e de 130 g kg<sup>-1</sup> na camada de 8 a 31 cm. Em áreas sobre Latossolo Amarelo eutrófico antropogênico o teor de silte foi de 130 g kg<sup>-1</sup> na camada de 0 a 30 cm e em Latossolo Amarelo eutrófico antropogênico foi de 218 g kg<sup>-1</sup> na camada de 0 a 37 cm. Possivelmente o fato determinante para essa variabilidade também seja o material de origem no qual a TPI foi formada (COSTA et al., 2009).

Teixeira et al. (2009) estudaram manchas de TPI formada sobre Argissolo sob sistema de produção de pasto e observaram que o teor de silte foi de 50 g kg<sup>-1</sup>, a principal justificativa para esse valor quando comparado ao encontrado em áreas com cultivos agrícolas e/ou em regeneração, é que o cultivo de forrageiras associada ao intenso pisoteio proporciona a compactação desses solos, favorecendo o aumento do teor de areia e argila e diminuindo o teor de silte.

Kämpf et al. (2009) observaram que em oito amostras de solos antrópicos do grupo cinzento escuro e em 16 amostras de solos antrópicos do grupo preto, o teor médio de argila foi de 250 g kg<sup>-1</sup>, devido a isso a cor da TPI não está relacionada com os teores de argila.

Corroborando com os dados encontrados nesse trabalho, Teixeira et al. (2009), observaram que os teores de argila encontrados em capoeira; com cultivo agrícola e com pastagem, foram respectivamente 141, 156 e 120 g kg<sup>-1</sup>. Da mesma forma, Barros et al. (2012), observaram que as TPI localizadas em Caxiuanã com diferentes idades de pousio e na camada de 2 a 10 cm, registraram valores de argila de 123, 153 e 214 g kg<sup>-1</sup>.

Considerando a heterogeneidade na formação das TPI, Silva et al. (2012), verificaram que os teores de argila na camada de 0 a 3 cm foi de 18,4 g kg<sup>-1</sup>, de 3 a 33 cm o equivalente a 25,2 g kg<sup>-1</sup> e de 33 a 42 cm de 50 g kg<sup>-1</sup> à medida que aumenta a profundidade aumenta o teor de argila, é válido ressaltar que os teores de argila em áreas adjacentes são maiores quando comparados aos teores observados em TPI.

Diferente do ocorrido em TPI/ARGI FS em Caxiuanã, que a medida que aumentava a camada o teor de argila diminuía, sendo que nos sistemas de

manejos de capoeira e de roça ocorreram um aumento no valor de argila. Na formação da TPI o teor de argila, não interfere na fertilidade natural desses solos, uma vez que a estabilização da MOS é associada aos teores de areia.

## 6.2. Matéria Orgânica do Solo (MOS)

Os resultados exploratórios através da análise de variância apresentaram efeito significativo do sistema de manejo sob solo antropizado (SMSA), da camada da profundidade efetiva do solo (Prof.) e interação entre SMSA e Prof. sobre os teores de MOS em solo antropizado formado sobre um Argissolo Amarelo (Tabela 8).

Tabela 8. Resumo da análise de variância para teores de matéria orgânica do solo (MOS) em solo antropizado formado sobre Argissolo Amarelo, em área, na profundidade efetiva do solo e interação entre eles na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA.

| Fonte de variação                              | GL | MOS                |
|--|----|--------------------|
|  |    | g kg <sup>-1</sup> |
| Sistema de manejo sob solo antropizado (SMSA)  | 2  | **                 |
| Camada da profundidade efetiva do solo (Prof.) | 3  | **                 |
| Interação (SMSA x Prof.)                       | 6  | **                 |
| CV (%)   | -  | 14,82              |
| Média geral                                    | -  | 25,76              |
| DMS  | -  | 2,14               |

GL: grau de liberdade; CV: coeficiente de variação; DMS: diferença mínima significativa; \*\* significativo ao nível de 5% de probabilidade e não significativo (ns) pelo teste de Tukey.

A análise estatística mostra que o teor de MOS disponível no sistema de manejo sob TPI/ARGI FS foi superior quando comparado a ARGÍ CP e ARGÍ RÇ (Figura 10 a). Ainda, houve efeito significativo nos sistemas de manejo TPI/ARGÍ FS, ARGÍ CP e ARGÍ RÇ, sendo que os teores de MOS encontrados na TPI/ARGÍ FS foram estatisticamente superior aos observados nos sistemas ARGÍ CP e ARGÍ RÇ na camada de 0 a 5 e de 5 a 10 cm.

Na camada de 10 a 20 cm em TPI/ARGÍ FS e ARGÍ CP os teores de MOS foram estatisticamente semelhantes entre si, e superiores ao observado em ARGÍ RÇ. Diferente do ocorrido na camada de 20 a 30 cm, onde os sistemas de manejos ARGÍ CP e ARGÍ RÇ apresentaram teores de MOS estatisticamente semelhantes entre si e inferiores aos teores observados em TPI/ARGÍ FS (Figura 10 b).

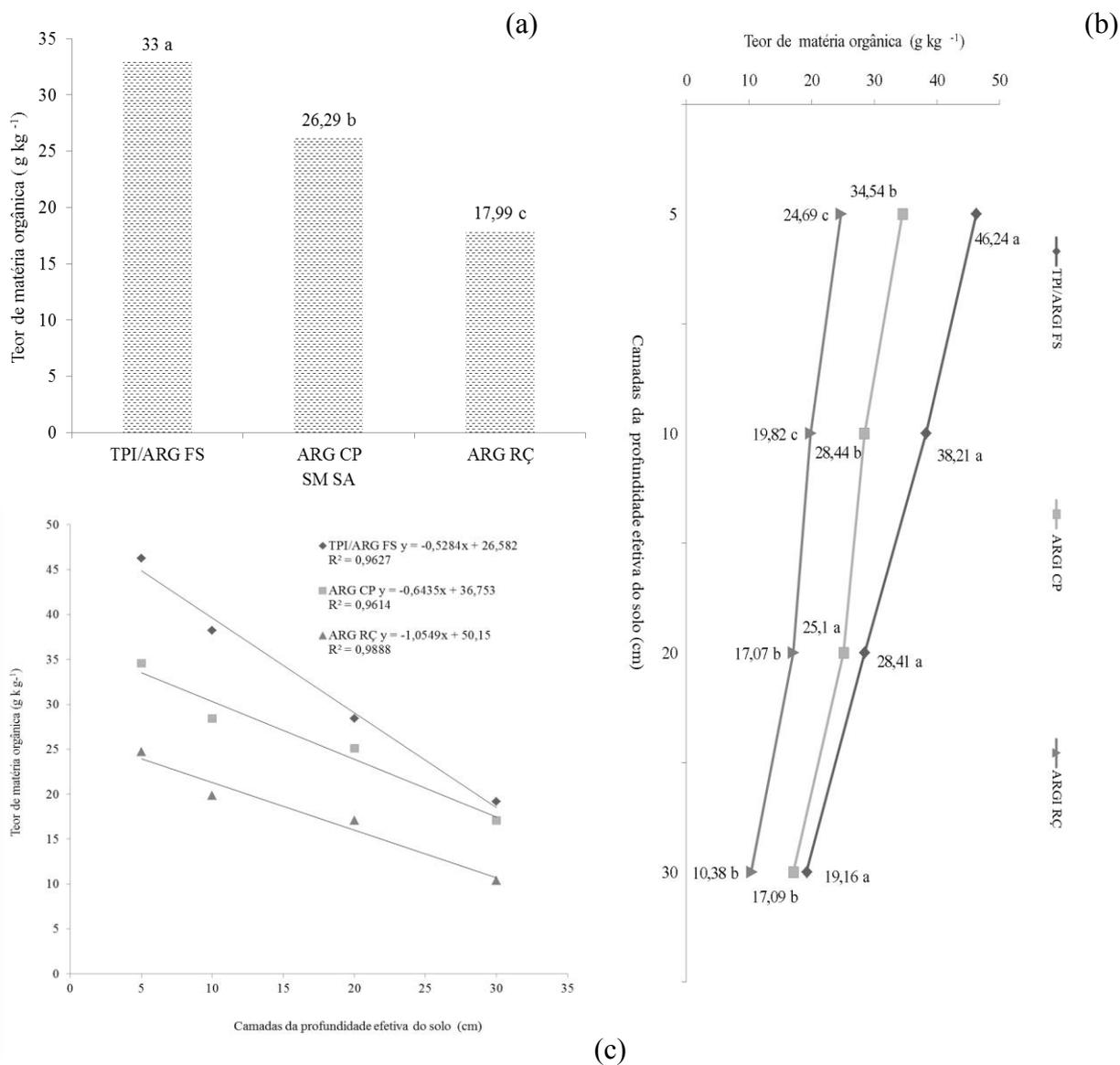


Figura 10. Teor de matéria orgânica (g kg<sup>-1</sup>) em sistemas de manejo (a), na camada da profundidade efetiva do solo (b) e em função dos sistemas de manejo e nas camadas da profundidade efetiva do solo em Terra Preta de Índio formada sobre um Argissolo Amarelo sob floresta secundária (TPI/ARGI FS); Argissolos Amarelo sob capoeira (ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob roça (ARGI RÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA.

Diferente do observado em TPI/ARGI FS e ARGI CP, a maior perda de MOS ocorre ao longo da profundidade efetiva do solo sendo mais severa no sistema de ARGI RÇ, essa reação é favorecida pelo revolvimento do solo mesmo sendo realizado através do sistema não tecnificado.

A equação de regressão demonstra que a medida que aumenta a profundidade, diminui o teor de MOS em ARGI RÇ ( $50,15 \text{ g kg}^{-1}$ ), seguido pela área de ARGI CP ( $36,75 \text{ g kg}^{-1}$ ) e TPI/ARGI FS ( $26,58 \text{ g kg}^{-1}$ ) (Figura 10 c).

Valores semelhantes foram encontrados por Barros et al. (2012) quando estudaram as áreas denominadas de sítio Mina I ( $24,87 \text{ g kg}^{-1}$ ), sítio Mina II ( $22,24 \text{ g kg}^{-1}$ ) e sítio Manduquinha ( $25,79 \text{ g kg}^{-1}$ ), localizados em Caxiuanã. Diferente dos teores encontrados por Silva et al. (2012) em solos de TPI no sul do Estado do Pará os quais obtiveram teores de  $124,12 \text{ g kg}^{-1}$  e uma redução que variou de  $118,95$  a  $18,96 \text{ g kg}^{-1}$  MO na camada superficial.

Foi observado por Teixeira et al. (2009), que o sistema de manejo, altera o teor de MO da TPI, em áreas com culturas anuais, o valor da matéria orgânica foi de  $36 \text{ g kg}^{-1}$ , na área de capoeira variou de 21 a  $103 \text{ g kg}^{-1}$  e em roça com mandioca  $67 \text{ g kg}^{-1}$ . Os maiores teores de matéria orgânica foram  $136,47$  e  $121,19 \text{ g kg}^{-1}$  respectivamente cultivos com banana e tomate e os menores teores foram registrados em áreas cultivadas com limão e mamão sendo respectivamente  $18,63$  e  $16,65 \text{ g kg}^{-1}$ .

Moreira (2007) estudando 17 sítios de Terra Preta no Amazonas observou que o valor médio de matéria orgânica foi de  $28,49 \text{ g kg}^{-1}$ , sendo que os teores de MO em três áreas distintas e na camada de 0 a 10 cm variaram de 21 a  $62 \text{ g kg}^{-1}$  e para a camada de 0 a 20 cm a variação foi de  $10,23$  a  $37,99 \text{ g kg}^{-1}$  e na camada de 20 a 40 cm os valores encontrados variaram de  $28,41$  a  $36,93 \text{ g kg}^{-1}$ .

Da mesma forma, Cunha (2007) observou que na camada de 20 cm em solos antropogênicos sob floresta e em solos antropogênicos sob cultivo agrícola, foram respectivamente  $76,89$  e  $77,06 \text{ g kg}^{-1}$  e não apresentaram diferença significativa. Possivelmente, devido às áreas de TPI/ARGI FS estarem em pousio, o que associado ao manejo e a deposição e decomposição de resíduos orgânicos favoreceram os altos teores de matéria orgânica.

Deve-se atentar que a análise da fertilidade dos solos é feita na fração leve da matéria orgânica, a qual é composta de resíduos de plantas em vários estágios de decomposição, mantendo relação com o material de origem e influenciada por

fatores climáticos e pelo tipo de manejo e características do solo, especialmente a textura e demais variáveis que afetam a taxa de decomposição como por exemplos valores de pH, temperatura e umidade (SILVA et al. 2010).

A constituição da MOS favorece a consolidação e estabilidade dos agregados do solo, fazendo com que ocorra a permeabilidade e capacidade de retenção de água pelo solo, oferecendo melhores condições à infiltração de água e troca de gases entre o solo e a atmosfera, assim como, dificulta o arraste das partículas pelas águas das chuvas, aumentando a resistência do solo à erosão e influenciando na cor do solo.

Independente dos teores de matéria orgânica disponível no solo, sua função é de extrema importância para os sistemas de produção ou manejo agrícola dos solos. Ainda pode-se inferir que nas TPI o processo de decomposição dos resíduos deixados pela agricultura associada à ocorrência de fragmentos de carvão vegetal está em atividade e elevando o teor de matéria orgânica.

Considerando-se que o sistema TPI/ARGI FS já tenha alcançado a estabilidade na decomposição da matéria orgânica originária da atividade humana, os valores são intermediários quando comparados aos resultados obtidos pelo sistema ARGICP e ARGIRÇ, sendo que a perda de matéria orgânica é mais severa em área do tipo roça, assim como nas camadas mais profundas.

### **6.3. Teor de C e N total, determinação isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ , Estoque de Carbono e Relação C/N**

A análise de variância demonstrou que houve efeito significativo do sistema de manejo sobre as variáveis de carbono e nitrogênio ( $\text{g kg}^{-1}$ ). Sendo que os resultados da profundidade efetiva do solo foram estatisticamente significativos para as variáveis de C e N  $\text{g kg}^{-1}$ , na composição isotópica  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  ‰ e na relação C/N (Tabela 9).

Tabela 9. Resumo da análise de variância dos teores de carbono total (C), composição isotópica do carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ), teores de nitrogênio total (N), composição isotópica e do nitrogênio ( $\delta^{15}\text{N}$ ), estoque de carbono e relação C/N em solo antropizado formado sobre Argissolo Amarelo, em área, na profundidade efetiva do solo e interação entre eles na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA.

| Fonte de variação                              | GL | C<br>g kg <sup>-1</sup> | $\delta^{13}\text{C}$<br>(‰) | N<br>g kg <sup>-1</sup> | $\delta^{15}\text{N}$<br>(‰) | E<br>mg ha <sup>-1</sup> | C/N   |
|--|----|-------------------------|------------------------------|-------------------------|------------------------------|--------------------------|-------|
| Sistema de manejo sob solo antropizado (SMSA)  | 2  | ns                      | **                           | **                      | **                           | **                       | ns    |
| Camada da profundidade efetiva do solo (Prof.) | 3  | **                      | **                           | **                      | **                           | ns                       | **    |
| Interação (SMSA x Prof.)                       | 6  | ns                      | ns                           | ns                      | ns                           | ns                       | ns    |
| CV (%)   | -  | 32,03                   | -4,66                        | 30,26                   | 11,13                        | 39,33                    | 13,29 |
| Média geral                                    | -  | 55,4                    | -27,01                       | 3,6                     | 7,67                         | 12,95                    | 15,38 |
| DMS  | -  | 0,99                    | 0,7                          | 0,06                    | 0,47                         | 6,13                     | 1,13  |

GL: grau de liberdade; CV: coeficiente de variação; DMS: diferença mínima significativa; \*\* significativo ao nível de 5% de probabilidade e não significativo (ns) pelo teste de Tukey.

A fim de melhor apresentar os resultados exploratórios dos isótopos estáveis do solo e a relação C/N observados em amostras de TPI formada sobre um Argissolo Amarelo, optou-se por fazer a discussão de cada grupo de variável que apresentaram resultados significativos, como segue:

### 6.3.1. Teor de carbono total e $\delta^{13}\text{C}$ (‰)

Considerando-se os resultados exploratórios, não houve efeito significativo dos sistemas de manejo sobre teores de C (Figura 11).

Corroborando, Gouveia et al. (2001) observaram que a determinação da razão isotópica das amostras de Latossolo em área de campo e floresta foram reduzindo à medida que aumentava a profundidade.

Costa Júnior (2011), observou que em solos sob pastagem os valores decresceram com o aumento da profundidade, passando de -14,5 ‰ na camada de 0 a 5 cm para -15,0 ‰ na camada de 10 a 20 cm, indicando gradativa substituição da MOS original pela adicionada pela espécie C4. Esses resultados foram superiores aos encontrados por autores em estudos realizados sobre cerrado e semelhante aos verificados em Latossolos e Argissolos na Amazônia.

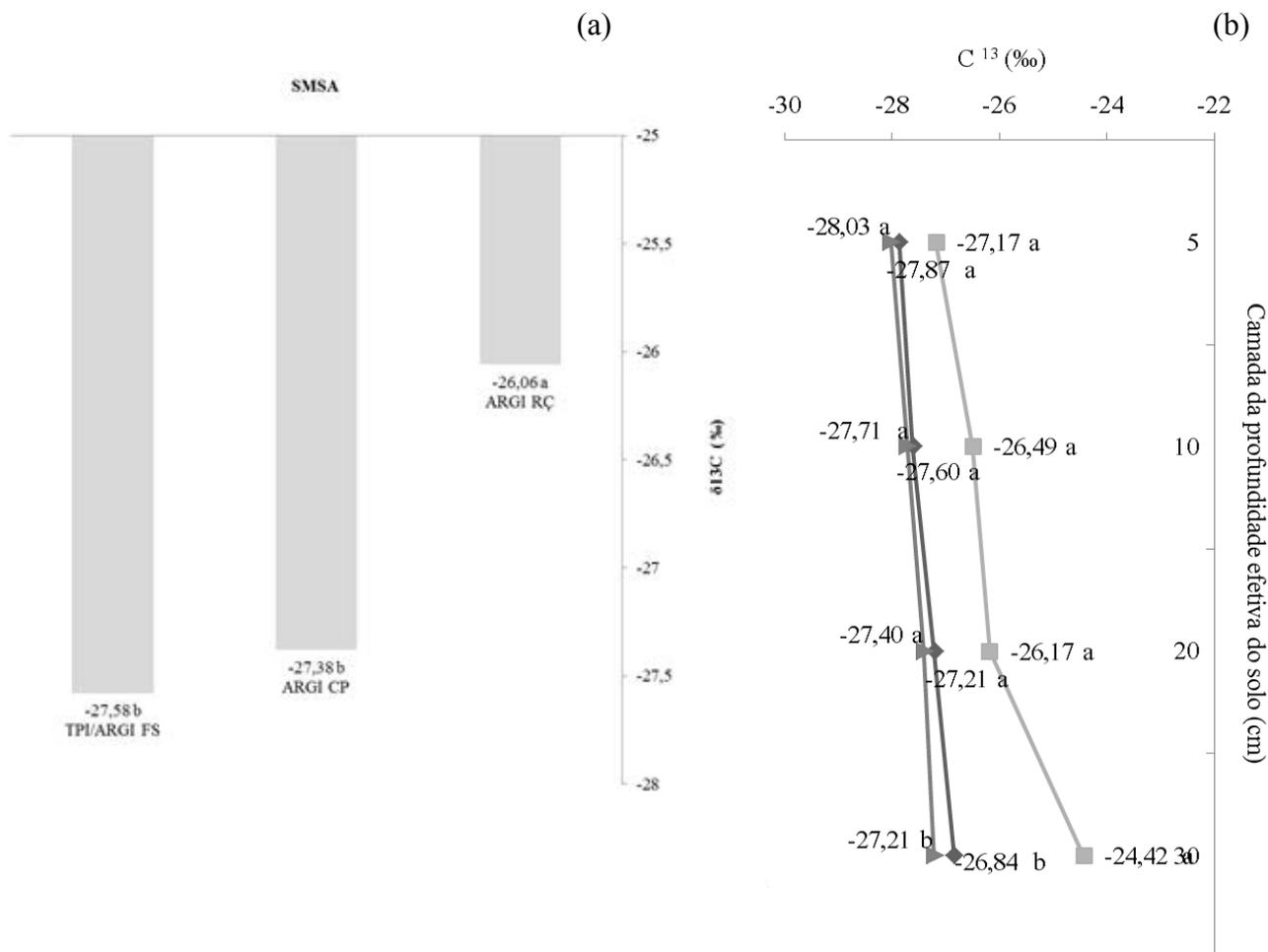


Figura 11. Composição isotópica de C ( $\delta^{13}\text{C}$ ) ‰ em sistemas de manejo (a) e na camada da profundidade efetiva do solo (b) em Terra Preta de Índio formada sobre um Argissolo Amarelo sob floresta secundária (TPI/ARGI FS); Argissolo Amarelo sob capoeira (ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob roça (ARGI RÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA.

Nardoto (2005), estudando a abundância natural de  $^{15}\text{N}$  em Latossolo Amarelo Aluminico e Argissolo Vermelho Amarelo localizados respectivamente na FLONA de Tapajós e em Manaus, observou que independente da estação climática, os valores isotópicos de carbono e nitrogênio de todas as áreas apresentaram, em geral, um progressivo enriquecimento em  $^{13}\text{C}$ . Sendo, que os valores  $\delta^{13}\text{C}$  para os solos sob floresta de terra-firme variaram de -28,4 a -26,0 ‰.

Devido o processo de decomposição da MOS, há um crescente acúmulo de material enriquecido em  $\delta^{13}\text{C}$  no perfil, ocorrendo, um aumento de 3 a 4 ‰ da MOS à medida que aumenta a camada, associado a essa reação, a eluviação da MOS ao longo do perfil do solo contribui para o acúmulo de material rico em  $\delta^{13}\text{C}$ , fazendo com que o solo funcione como uma resina trocadora, possivelmente essa reação seja resultante da mudança do tipo de vegetação durante a pedogênese do perfil (MARTINELLI et al., 2009).

Porém, tratando-se de TPI a mudança da vegetação não é resultado direto da pedogênese e sim da antropogênese, com isso, pode-se afirmar que essa variação, foi ocasionada pelo manejo utilizado por populações pretéritas, que usavam o fogo no preparo da área para cultivo.

Fato relevante deve ser observado no sistema ARGÍ CP o qual apresentou maior enriquecimento, esse resultado é justificado devido a essa área já ter sido manejada estando em regeneração. Independente da área os maiores valores de  $\delta^{13}\text{C}$  foram observados na camada de 20 a 30 cm, considerando-se que essas TPI foram manejadas anteriormente e atualmente encontram-se em diferentes níveis de uso, conclui-se que a atividade antrópica interfere diretamente na abundância natural de  $\delta^{13}\text{C}$ .

### **6.3.2. Teor de Nitrogênio total e $\delta^{15}\text{N}$ (‰).**

A TPI/ARGÍ FS apresentou os maiores teores de  $4 \text{ g kg}^{-1} \text{ N}$ , seguido de ARGÍ CP  $3,6 \text{ g kg}^{-1} \text{ N}$  e ARGÍ RÇ  $3,2 \text{ g kg}^{-1} \text{ N}$  (Figura 12 a). Comportamento semelhante foi observado na composição isotópica do N em TPI/ARGÍ FS (8,43 ‰), seguido de ARGÍ CP (7,62 ‰) e ARGÍ RÇ (6,94 ‰). Observou-se, que a concentração do N total e  $\delta^{15}\text{N}$  foram estatisticamente superiores na área TPI/ARGÍ FS, seguido por ARGÍ CP e ARGÍ RÇ (Figura 12 b).

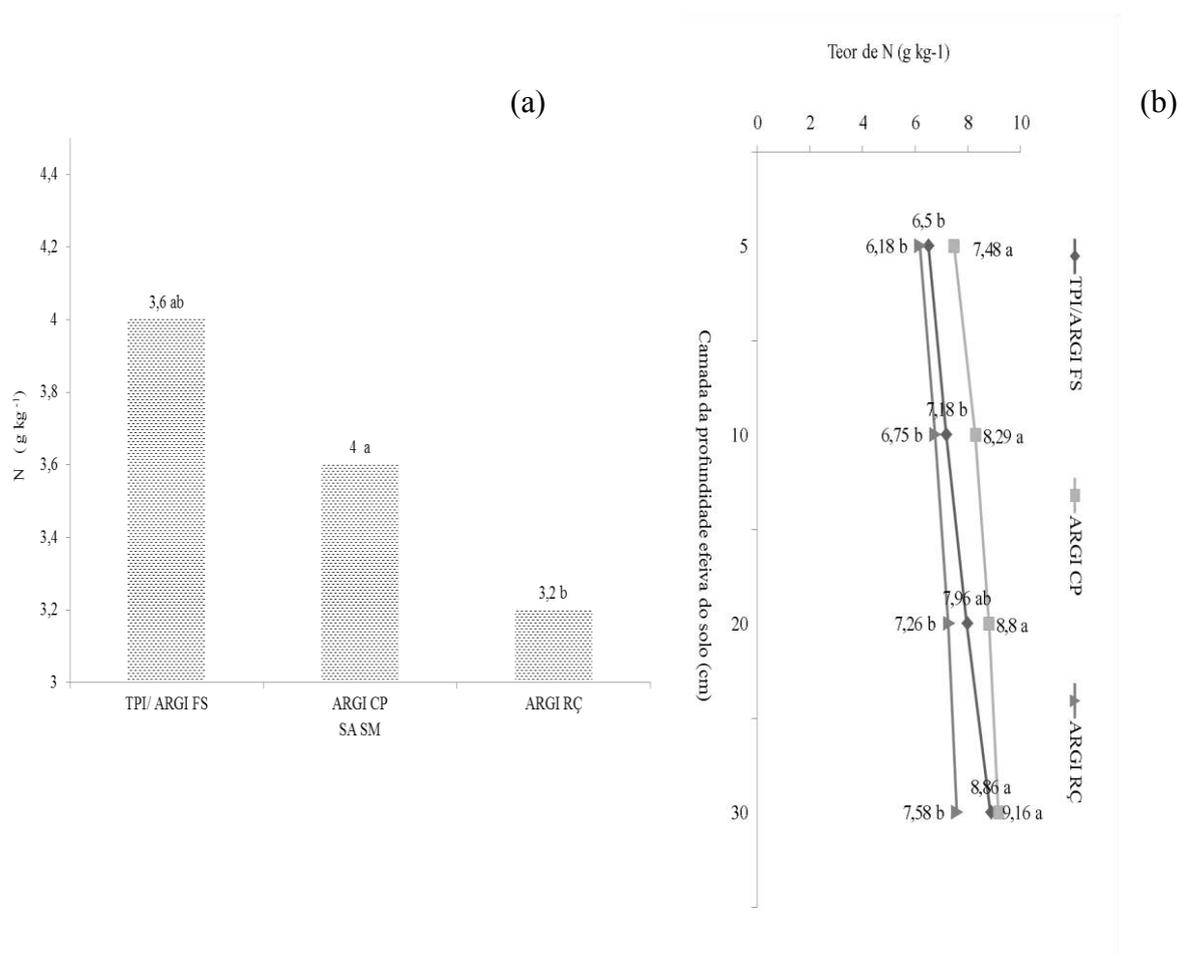


Figura 12. Teores de N totais g kg<sup>-1</sup> (a) e composição isotópica de N ( $\delta^{15}\text{N}$ ) ‰ (b) em sistemas de manejo (a) e na camada da profundidade efetiva do solo (b) em Terra Preta de Índio formada sobre um Argissolo Amarelo sob floresta secundária (TPI/ARGI FS); Argissolo Amarelo sob capoeira (ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob roça (ARGI RÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA.

Conforme RAIJ (2011), a conversão da floresta primária por meio do uso do fogo seguido da introdução de sistemas agrícolas interfere na dinâmica da matéria orgânica e na abundância natural de <sup>15</sup>N. Na biosfera, o solo é considerado como o maior absorvedor de N disponível, o qual é encontrado na forma orgânica, por meio de dois mecanismos, sendo o primeiro a transformação do N em ácido nítrico chegando ao solo através das chuvas, resultando em nitratos aproveitáveis pelas plantas e o segundo através da fixação direta do nitrogênio do ar por microrganismos do solo, sendo, este último a principal explicação para a existência do nitrogênio orgânico, resultante do acúmulo progressivo em muitos anos de formação do solo.

Com isso, podemos afirmar que os teores de N assim como a abundância natural de  $^{15}\text{N}$  foram resultantes do efeito significativo do sistema TPI/ARGI FS associado ao acúmulo e decomposição de restos de vegetais. Diferente do observado no sistema de ARGI CP, o qual encontrava-se há 4 anos sem uso, e o sistema de ARGI RÇ com plantio de mandioca. É válido ressaltar que na agricultura praticada em Caxiuanã não é realizada a correção da acidez nem adição de fertilizante mineral. O preparo da área é feito através do corte, derruba e queima e após a colheita a área permanece em descanso que pode variar de 4 a 5 anos.

Corroborando, Figueira (2006), estudando a composição isotópica  $\delta^{15}\text{N}$  e a concentração de N em Latossolo Amarelo argiloso, o qual apresentava alto teor de argila, baixo pH, concentração de fósforo de  $6,9 \mu\text{g g}^{-1}$  e de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) de  $41,7 \mu\text{g g}^{-1}$ , observou que a média do teor de N no solo em clareiras de 3 a 5 anos e na floresta de terra firme foi de  $2,8 \text{ g kg}^{-1}$ . Diferente do observado nesse estudo, a TPI mantém um maior valor de N quando comparado aos valores encontrados em Latossolo.

Semelhante aos resultados obtidos para os valores de nitrogênio total e  $\delta^{15}\text{N}$  em diferentes sistemas de manejo, os valores de N encontrados na profundidade efetiva do solo foram estatisticamente superiores nos sistemas de manejo TPI/ARGI FS e ARGI CP na camada de 0 a 5 cm. Para as demais camadas os resultados não apresentaram diferença significativa (Figura 13 a).

A  $\delta^{15}\text{N}$  foi estatisticamente significativa, porém, apresentou comportamento distinto do observado nos teores de N. Fato relevante pode ser observado, que o  $\delta^{15}\text{N}$  foi maior à medida que a camada aumenta (Figura 13 b).

Semelhantes aos resultados observados neste trabalho, Costa Junior et al. (2011), estudaram a reação de um Latossolo Vermelho distrófico sob cerradão, plantio direto, cultivo agrícola e pastagem, observaram que a concentração de N foi maior na superfície decrescendo em camada e que a abundância natural de  $^{15}\text{N}$  aumentou no perfil do solo .

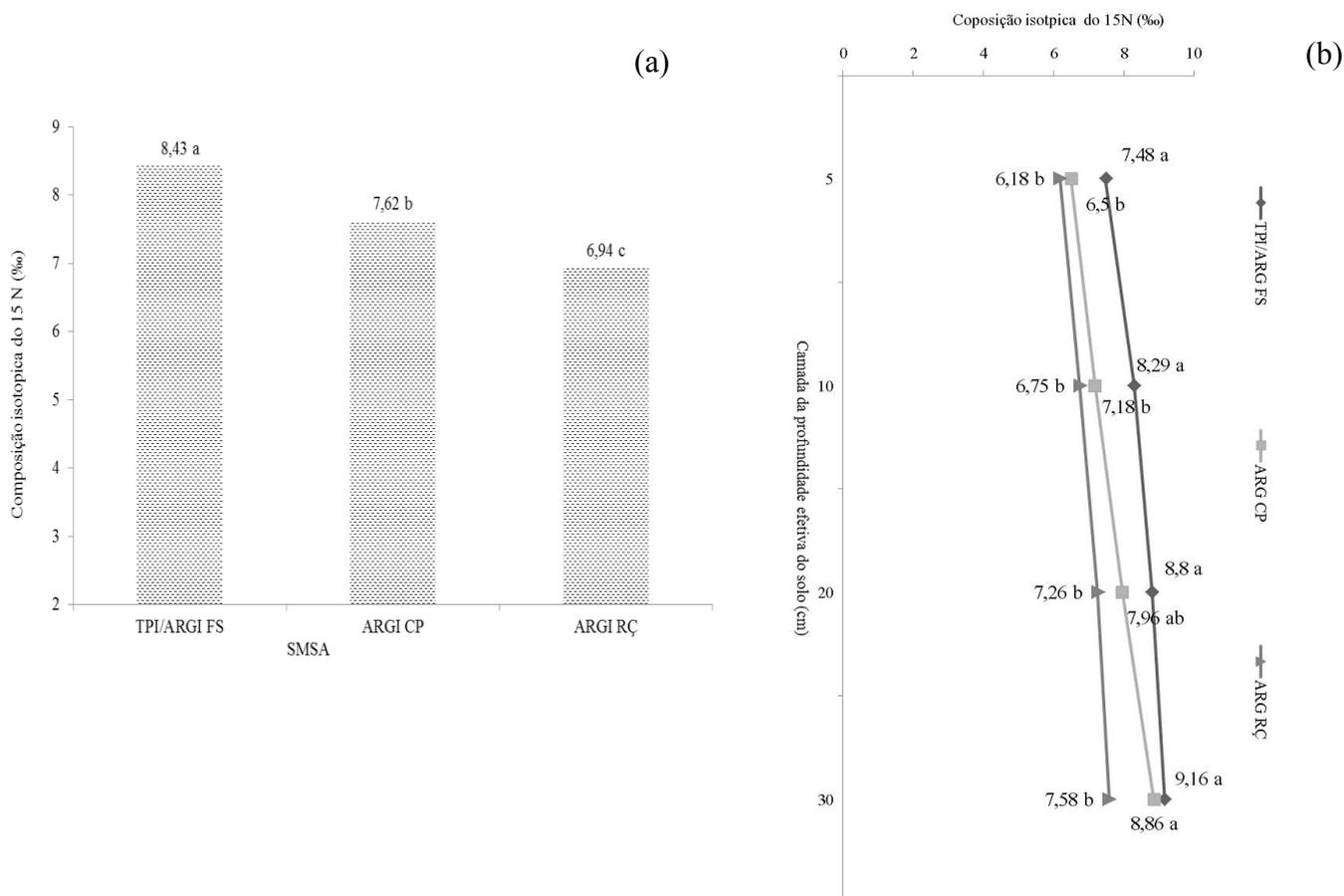


Figura 13. Teores de N total ( $\text{g kg}^{-1}$ ) (a) e composição isotópica de  $\delta^{15}\text{N}$  (‰) (b) em sistemas de manejo (a) e na camada da profundidade efetiva do solo (b) em Terra Preta de Índio formada sobre um Argissolo Amarelo sob floresta secundária (TPI/ARGI FS); Argissolo Amarelo sob capoeira (ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob roça (ARGI RÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA.

Os mesmos autores, afirmaram que essa ocorrência é reflexo da decomposição do resíduo vegetal incorporado e que devido o fracionamento da MOS durante a mineralização e as sucessivas assimilações de N pelas plantas, levam a maior decomposição do isótopo mais leve de N ( $^{14}\text{N}$ ), deixando a MOS com alto valor de  $\delta^{15}\text{N}$ .

Os valores mais elevados de  $\delta^{15}\text{N}$  ocorreram em TPI/ARGI FS, o que sugere a presença de leguminosas nativas fixadoras de N. Diferente do observado no área ARG I RÇ que apresentou valores inferiores de  $\delta^{15}\text{N}$ , indicando ausência de contribuição no estoque de carbono de N do solo. O sistema ARG I CP apresentou valores de  $\delta^{15}\text{N}$  característicos de uma área em regeneração natural.

### 6.3.3. Estoque de Carbono

No Figura 14, observa-se que o estoque de carbono no área TPI/ARGI FS foi estatisticamente superior quando comparado ao área de ARGI CP e ARGI RÇ.

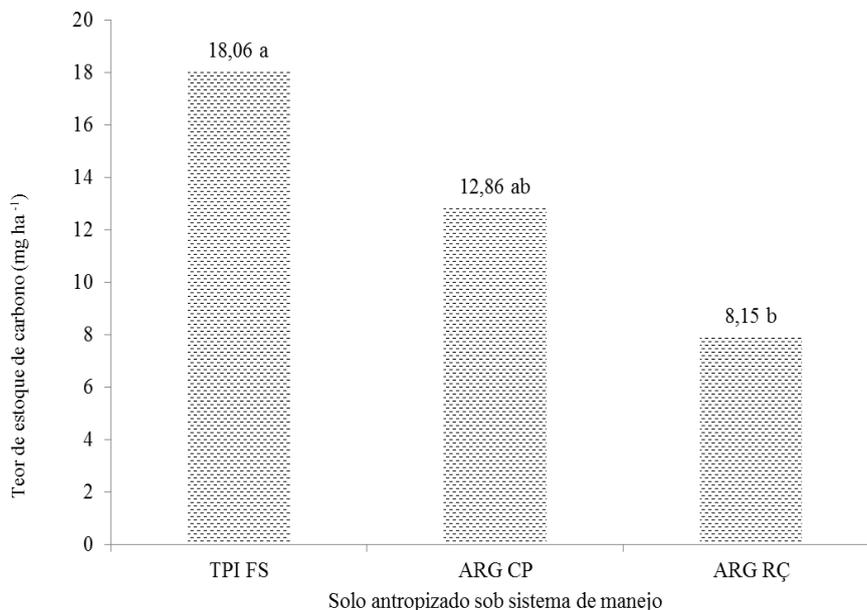


Figura 14. Estoque de Carbono (mg ha<sup>-1</sup>) em sistemas de manejo (a) em Terra Preta de Índio formada sobre um Argissolo Amarelo sob floresta secundária (TPI/ARGI FS); Argissolo Amarelo sob capoeira (ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob roça (ARGI RÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA.

Corroborando, Martins et al. (2012) observaram que na camada de 0 a 20 cm o estoque de carbono em Terra Preta de Índio (TPI) e Terra Mulata (TM) sob capoeira (63,57 Mg ha<sup>-1</sup>) e cultivo anual (48,12 Mg ha<sup>-1</sup>) foram superiores aos valores encontrados em TM sob cultivo anual (36,81 Mg ha<sup>-1</sup>). Sendo que os maiores estoques de carbono ocorrem em solos com vegetação em regeneração.

Cabrera (2009), estudando terra preta de índio (TPI), solo de transição (ST) e solo adjacente (AS), observou que nos primeiros 10 cm de camada os valores estocados de carbono, foram respectivamente 40, 32 e 20 Mg ha<sup>-1</sup>, esses resultados foram semelhantes aos obtidos por Araújo et al. (2011). É válido ressaltar que os maiores estoques de carbono foram registrados nas camadas de 20 a 40 cm em TPI e 40 a 70 cm, em solos de transição, conhecidos como terra mulata e solos adjacentes.

Oblitas Mendonza (2011), estudando Terra Preta de Índio, Terra Mulata e Solos Adjacentes, observou que os solos adjacentes apresentaram os maiores estoques de carbono. Sendo que à medida que aumentava a camada diminuía o valor do carbono estocado. O mesmo autor afirma que, essa ocorrência implica diretamente na área do solo utilizado. Em contrapartida, o LA típico da Amazônia Central pode possuir estoques de carbono no solo muito superiores aos de TP.

Costa et al. (2010) observaram que o maior estoque de C foi de 81 Mg ha<sup>-1</sup> em Argissolo com pastagem e na camada de 50 cm, os Plintossolos sob floresta apresentaram 60 Mg ha<sup>-1</sup> e os teores de estoque de carbono em Espodossolos com paisagem em situação de encosta foi de 32 Mg ha<sup>-1</sup>. Os mesmos autores justificaram que a ocorrência de altos estoques de C em solos sobre pastagem ocorreu devido ao “turnover” de raízes e serapilheira serem maiores que nos demais solos, o que, contribuiu com um aporte de carbono diferenciado nos diversos compartimentos de armazenagem.

Contrapondo, Boddey et al.(2012) afirmaram que os principais fatores que causaram a diminuição do estoque de C no solo foram a substituição das espécies vegetais perenes por temporárias, uma vez que as perenes promovem o maior retorno de C ao solo, através do seu sistema radicular, há um menor revolvimento do solo seja mecânico ou manual, e maiores alterações nos regimes hídrico e térmico. Estes últimos favorecem o aumento da taxa de decomposição do C no solo e a erosão, promovido pelo cultivo da camada superficial.

Observações relevantes foram feitas por Araújo et al. (2011) em diferentes sistemas de uso sobre Argissolo Vermelho – Amarelo no Estado do Acre, onde, os maiores estoques totais encontraram-se em área de pastagem com 10 anos (22,86 Mg ha<sup>-1</sup>), devido ao acúmulo de matéria orgânica na superfície e camada ao longo do tempo. Diferente do observado, em áreas de pasto com 3 anos, a qual apresentou um estoque total de C de 6,5 Mg ha<sup>-1</sup>.

Possivelmente, esse resultado deve estar relacionado à menor quantidade de C proveniente das pastagens nos primeiros anos de implantação, além do aumento das perdas de C por efeito das queimadas. A partir desse resultado pode-se afirmar que em TPI/ARGI FS no qual o solo permanece em descanso, a recuperação dos atributos químicos através do estoque de C é mais eficiente sendo que a principal característica do restabelecimento dessas características é o acúmulo de C do solo que é resultante da deposição e decomposição de resíduo orgânico.

Fato relevante é que independente do uso do solo e/ou sistema de manejo utilizado a maior concentração dos teores de estoque de C ocorreram na profundidade efetiva. Sendo, que a TPI/ARGI FS e a ARGI CP apresentaram os maiores estoques de carbono. O que corrobora, quando se afirma que as atividades agrícolas têm demonstrado ser dependentes da matéria orgânica para uma produção rentável e sustentável, devido à inter-relações entre as características físicas, químicas, biológicas e o C no solo.

O acúmulo do C no solo é controlado pela taxa da deposição de resíduos adicionados ao solo e a sua taxa de decomposição. Diferente do ocorrido em áreas agricultáveis, como por exemplo, as roças, as quais estocam C em pouca quantidade quando comparado às áreas de florestas primárias, florestas secundárias e áreas em regeneração assim também chamadas de capoeiras.

Com isso, a importância de propor sistemas combinados e/ou associados ao manejo para recuperação em áreas alteradas, torna-se uma premissa no melhoramento da qualidade do solo, sem que para isso seja necessária a redução das áreas produtivas.

#### **6.3.4. Relação C/N**

Os resultados obtidos para a razão C/N foram estatisticamente significativos na camada de 0 a 5 cm em ARGI CP e ARGI RÇ, os valores observados em TPI/ARGI FS indicam que não houve diferença significativa quando comparados com ARGI CP e ARGI RÇ. Nas camadas de 5 a 10 e 10 a 20 cm nenhum dos sistemas apresentaram diferença significativa. Diferente do ocorrido na camada de 20 a 30 cm, em TPI/ARGI FS e ARGI CP os quais foram estatisticamente diferentes entre si, e o ARGI RÇ não apresentou resultado significativo, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade (Figura 15).

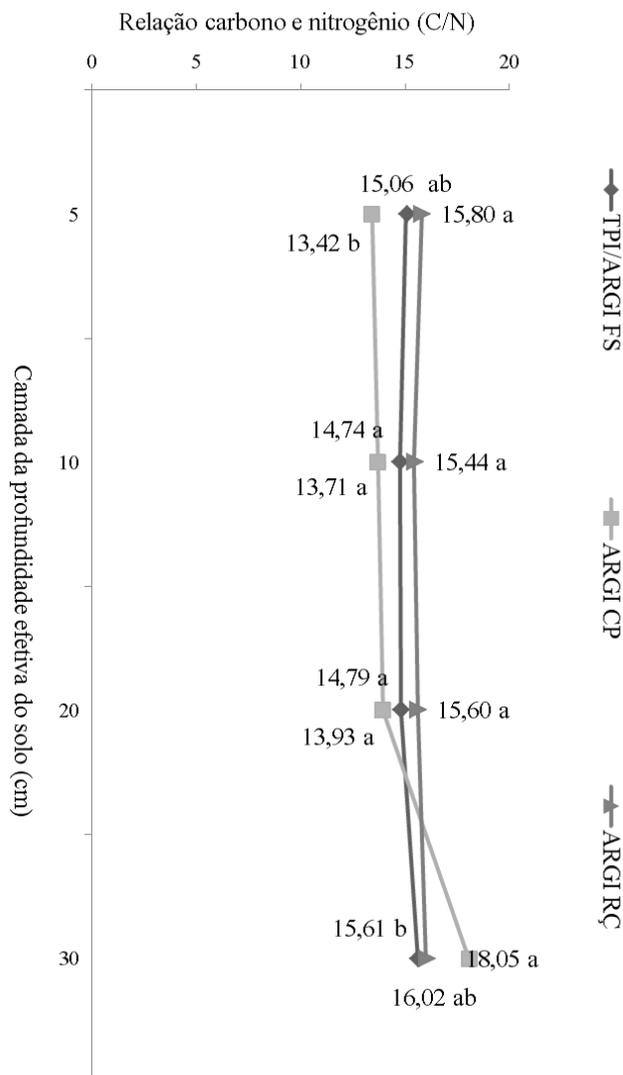


Figura 15 Relação C/N camada da profundidade efetiva do solo em Terra Preta de Índio formada sobre um Argissolo Amarelo sob floresta secundária (TPI/ARGI FS); Argissolo Amarelo sob capoeira (ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob roça (ARGI RÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA.

O referido estudo constatou que o valor médio da razão C/N foi de 15,38. Esse valor é resultante do processo de conversão da fase orgânica para inorgânica. Essa reação de decomposição é diretamente influenciada pela temperatura, umidade e microrganismos do solo.

Inicialmente esse processo tende a ser mais rápido devido à ação de microrganismos do solo. Em áreas com vegetação já estabelecida, como por exemplo, as áreas de floresta secundária e capoeiras, a reação do solo é mais lenta, podendo ser chamada de reciclagem de nutrientes.

Corroborando, Araújo et al. (2011), observaram que na camada de 0 a 5 cm as maiores proporções de C e N foram registradas em áreas sob florestas (8,64), porém, na camada de 10 - 20 cm o maior valor para a relação C/N ocorreu em área de pastagem com 10 anos (10,00). O autor justifica essa variação devido o aporte de resíduo do sistema radicular da braquiária, o qual tende a aumentar, à medida que o pasto permanece em produção.

Valores semelhantes foram encontrados por Mardegan (2007) quando estudou Latossolos com diferentes tipos de vegetação, sendo que as áreas de floresta densa de terra firme apresentaram maiores teores na relação C/N, diferente dos observados em áreas de campina e campinarana.

Figueira (2006) observou que na camada superficial de 0 a 5 cm a relação C/N obteve maiores resultados em clareiras de 5 anos em regeneração e as clareiras abertas a 1 ano os resultados para a relação C/N foram menores.

Semelhante aos resultados obtidos neste trabalho, Moreira (2007), estudando três sítios de TPI no Amazonas, observou que na camada de 0 a 10 cm os valores para a relação C/N variaram de 8,73 a 25,39 e na camada de 10 a 20 cm a variação foi de 14,80 a 24,08.

Possivelmente essa reação é devido à presença de material orgânico de fácil decomposição, o que favorece a disponibilidade de energia para os microrganismos, estes por sua vez, também necessitam de outros elementos minerais, ou seja, se o resíduo orgânico apresentar uma relação C/N alta, o nitrogênio será o fator limitante do crescimento da população microbiana.

Com isso, se a relação C/N for  $< 20/1$  ocorrerá à conversão da forma orgânica para a inorgânica como resultado da decomposição microbiana a qual disponibiliza o N para as plantas em curto prazo. Observou-se neste estudo que apesar de todos os valores observados na relação C/N terem sido inferiores a 20/1, o ARG1 RÇ ainda permanece sendo o sistema que menos disponibiliza N para as plantas, diferente do observado nos resultados obtidos em TPI/ARG1 FS e ARG1 CP os quais apresentaram os menores valores da relação C/N.

#### 6.4. Atributos químicos para parâmetro de fertilidade do solo

##### 6.4.1. Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg)

A Tabela 10 apresenta os resultados obtidos para os atributos químicos para parâmetro de fertilidade, o resumo da análise de variância confirma que houve efeito significativo nos teores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio, sendo a média geral para fósforo foi de 60,05  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ , potássio 0,08  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ , cálcio 7,36  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  e magnésio 1,46  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ .

Tabela 10. Resumo da análise de variância para teores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio em solo antropizado formado sobre Argissolo Amarelo, em área, na profundidade efetiva do solo e interação entre eles na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA.

| Fonte de variação                              | GL | P                   | K                              | Ca   | Mg    |
|--|----|---------------------|--------------------------------|------|-------|
|  |    | $\text{mg dm}^{-3}$ | $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ |      |       |
| Sistema de manejo sob solo antropizado (SMSA)  | 2  | **                  | **                             | **   | **    |
| Camada da profundidade efetiva do solo (Prof.) | 3  | ns                  | **                             | **   | **    |
| Interação (SMSA x Prof.)                       | 6  | ns                  | ns                             | ns   | **    |
| CV (%)   | -  | 29,43               | 20,3                           | 17,7 | 22,71 |
| Média geral                                    | -  | 60,05               | 0,08                           | 7,36 | 1,46  |
| DMS  | -  | 9,93                | 0,009                          | 0,73 | 0,18  |

GL: grau de liberdade; CV: coeficiente de variação; DMS: diferença mínima significativa; \*\* significativo ao nível de 5% de probabilidade e não significativo (ns) pelo teste de Tukey.

Os teores de P, K e Ca foram superiores em TPI/ARGI FS os quais diferiram significativamente do ARGI CP e ARGI RÇ. Os teores de Mg foram superiores somente em ARG RÇ (Figura 16).

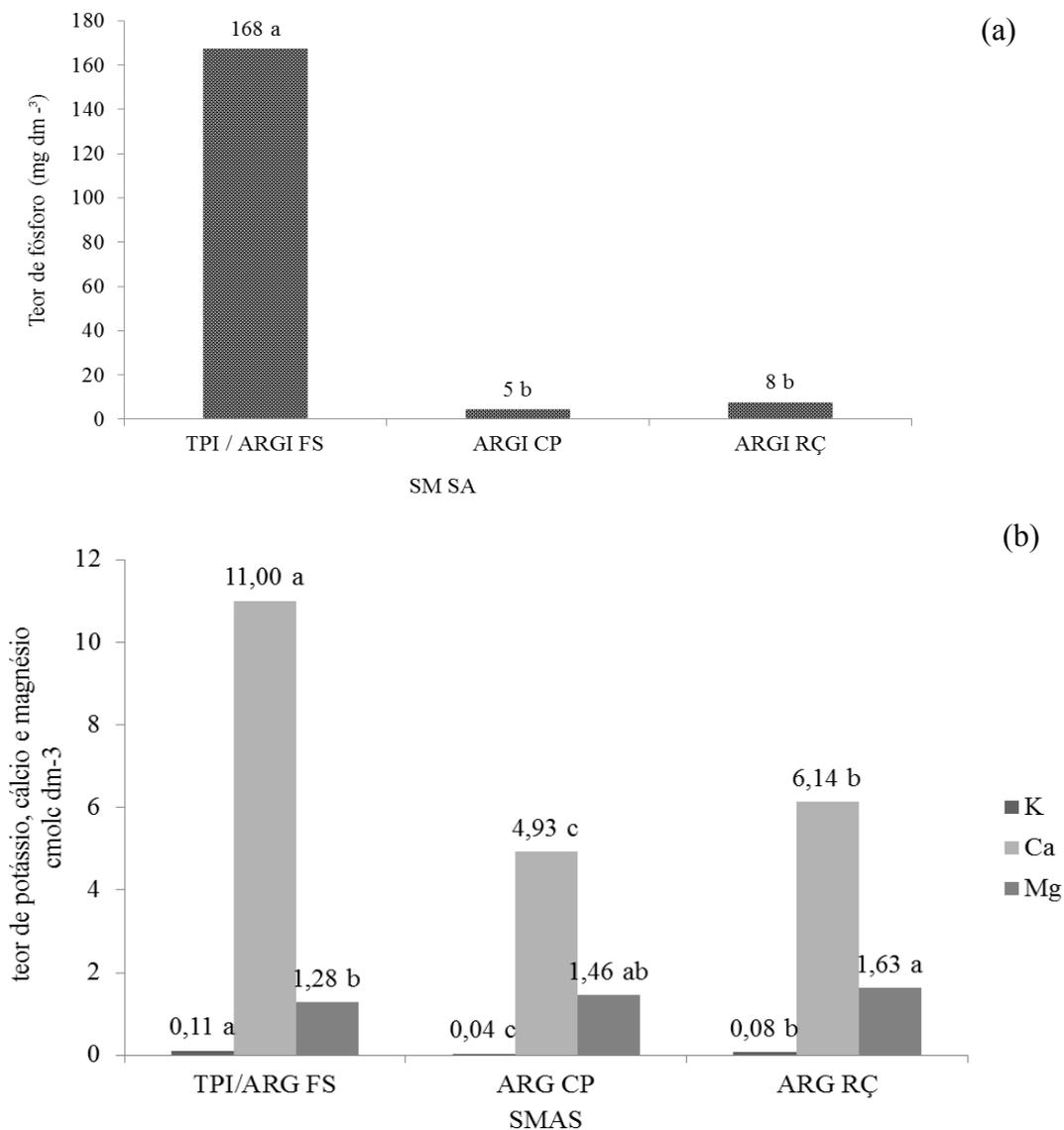


Figura 16. Teor de fósforo (mg dm<sup>-3</sup>) (a), potássio, cálcio e magnésio (cmol<sub>c</sub>dm<sup>-3</sup>) (b) em sistemas de manejo em Terra Preta de Índio formada sobre um Argissolo Amarelo sob floresta secundária (TPI/ARGI FS); Argissolo Amarelo sob capoeira (ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob roça (ARGI RÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA.

Os maiores teores de fósforo, foram encontrados em TPI/ARGI FS, semelhante do observado por Lima et al. (2009), o qual registrou teores de fósforo em TPI formada sobre Argissolo Amarelo eutrófico antrópico equivalente a 173 mg kg<sup>-1</sup>; em TPI formada sobre Latossolo Amarelo eutrófico antrópico 1,99 mg kg<sup>-1</sup> e em TPI sobre Cambissolo eutrófico antrópico o teor de fosforo foi de 1,33 mg kg<sup>-1</sup>.

Corroborando, Schmidt et al. (2009) estudando a formação das Terras Pretas no Alto Xingu no Estado do Pará, observaram teores de  $P_2O_5$  que variaram conforme a área de uso e a camada. Nas áreas denominadas de lixeira atual, registrou os seguintes teores de fósforo  $1390 \text{ mg kg}^{-1}$  (0 a 5 cm);  $1737 \text{ mg kg}^{-1}$  (5 a 10 cm);  $1524 \text{ mg kg}^{-1}$  (10 a 20 cm) e  $933 \text{ mg kg}^{-1}$  (20 a 30 cm).

Na área de processamento de mandioca (também conhecidas regionalmente como casa de farinha) os teores de fósforo encontrados foram  $35 \text{ mg kg}^{-1}$  (0 a 5 cm);  $21 \text{ mg kg}^{-1}$  (5 a 10 cm);  $32 \text{ mg kg}^{-1}$  (10 a 20 cm) e  $108 \text{ mg kg}^{-1}$  (20 a 30 cm).

Barros et al. (2012), estudando o fracionamento da MO no sítio Mina I em Caxiuanã, observaram teores de  $P_2O_5$  que variaram de 183,33; 34,33 e 15,79  $\text{mg dm}^{-3}$ . A mesma autora afirma que a relação entre a disponibilidade de fósforo e matéria orgânica na fase sólida do solo indica a forma química como ortofosfato, principalmente com metais cálcio, ferro e alumínio e a associação com a matéria orgânica o que favorece a disponibilidade de fósforo no solo.

Moreira et al. (2009) encontraram teores de P que variaram de acordo com a solução extratora, sendo o valor médio de 599,53 (Mehlich 1), 369,80 (Mehlich 3) e 144,88  $\text{mg dm}^{-3}$  (resina). Os mesmos autores observaram semelhança com resultados obtidos para os fosfatos naturais não reativos e que os altos teores de P disponível obtidos com os extratores Mehlich1 e Mehlich 3, possivelmente estavam superestimados, haja vista, que as soluções ácidas dissolvem predominantemente o P ligado ao Ca (que é o caso do P oriundo de ossos ou espinhas de peixe, fonte das elevadas concentrações de P nas TP e quantidades menores de P ligado a Fe e Al). Possivelmente esses extratores não sejam os mais indicados para a análise de fósforo.

Falcão et al. 2009 encontraram perfis de TPI na região de Belterra no Estado do Pará, que apresentaram elevados teores de  $P_2O_5$  total, tanto na camada superficial como na sub superfície, assim como, valores mais altos foram encontrados nas TPIs que apresentaram textura muito argilosa. Contudo, o menor valor para as TPIs mensurados por Sombroek (1966) foi de P de  $100 \text{ mg kg}^{-1}$  de  $P_2O_5$ , sendo esse valor encontrado na amostra com textura franco arenosa. O mesmo autor observou neste estudo a relação direta entre os teores de P total e a capacidade de troca de cátions potencial (CTC p).

Uma possível explicação para esta relação direta entre a CTC p e os teores totais de  $P_2O_5$ , é o aumento da atividade da matéria orgânica causado pelo fósforo,

formando complexos com a MO. Esse fenômeno ocorre em menor intensidade nas camadas mais profundas onde os teores de matéria orgânica são menores.

Moreira et al. (2009) afirmaram que grande parte do P disponível é proveniente da ação antrópica, haja vista que na média dos solos da região o  $P_2O_5$  orgânico é inferior a  $3,5 \text{ mg dm}^{-3}$ , sendo que na média das amostras analisadas de camadas antrópicas de TP no Amazonas o valor foi acima de  $400 \text{ mg dm}^{-3}$ .

Kämpf et al. (2009) observaram que os solos de TP e outros solos antigos, apresentaram amostras de cor cinza o teor médio de  $P_2O_5$  foi de  $136 \text{ mg kg}^{-1}$  e em amostras de cor preta o teor médio de P foi de  $655 \text{ mg kg}^{-1}$ . Arruda et al. (2009) tomaram como referência a fertilidade “natural” dos solos de Terra Preta, e instalaram experimento sobre Latossolo Amarelo distrófico e adicionaram diferentes doses de esterco de galinha associado a um condicionador do solo, no caso, resíduo de carvão vegetal. Estatisticamente o esterco de galinha aumentou de maneira significativa a concentração de fósforo, sendo respectivamente de 3; 381 e  $731 \text{ mg dm}^{-3}$ .

Corroborando Botelho et al. (2010) afirmaram que a principal fonte orgânica de fósforo é o esterco de galinha o qual dispõe de  $296 \text{ g kg}^{-1}$  seguido de esterco bovino ( $194 \text{ g kg}^{-1}$ ) e composto orgânico ( $180 \text{ g kg}^{-1}$ )

Brasil e Cravo (2010) consideraram dois fatores como parâmetros de classificação da disponibilidade de P nos solos do Estado Pará. O primeiro refere-se à resposta de diversas culturas à adubação fosfatada e o segundo o teor de argila do solo, uma vez que os resultados demonstraram que a disponibilidade de P no solo, extraído pelo método Mehlich<sup>-1</sup> varia em virtude desse atributo do solo.

Foi observado que em solos com teores de argila acima de  $350 \text{ g kg}^{-1}$  a disponibilidade de fósforo é considerado baixo ( $\leq 5 \text{ mg dm}^{-3}$ ), médio (6 a  $10 \text{ mg dm}^{-3}$ ), alto (11 a  $15 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e muito alto ( $>15 \text{ mg dm}^{-3}$ ). Em solos com textura média que variam de 150 a  $350 \text{ g kg}^{-1}$  de argila a disponibilidade de fósforo é considerado baixo ( $\leq 8 \text{ mg dm}^{-3}$ ), médio (9 a  $15 \text{ mg dm}^{-3}$ ), alto (16 a  $20 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e muito alto ( $> 20 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e em solos com textura arenosa com teor de argila abaixo de  $150 \text{ g kg}^{-1}$  a disponibilidade de fósforo é considerado baixo ( $\leq 10 \text{ mg dm}^{-3}$ ), médio (11 a  $18 \text{ mg dm}^{-3}$ ), alto (16 a  $20 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e muito alto ( $> 20 \text{ mg dm}^{-3}$ ).

Os teores de areia ( $717,11 \text{ g kg}^{-1}$ ) e de fósforo ( $168 \text{ mg dm}^{-3}$ ) encontrados em TPI sob sistema TPI/ARGI FS foram superiores aos observados nas áreas de ARGICP e ARGIRÇ, favorecendo a disponibilidade de fósforo em solos mais

arenosos em pousio, sendo que possivelmente essa reação esteja relacionada aos teores de MO decomposta a qual reage na adsorção do fósforo ao solo.

Ressaltamos que na Amazônia a deficiência de fósforo tem sido suprida através da calagem associada à adição de SFT. Esse manejo tem como principal resultado na fase sólida do solo a formação de ligações químicas como ortofosfato, principalmente com metais, cálcio, ferro e alumínio e a matéria orgânica.

Os altos teores de fósforos encontrados em TPI podem ser resultantes da ação involuntária do sistema de manejo utilizado por populações pretéritas, as quais utilizavam o fogo como principal “ferramenta” para o manejo do solo o que associado a deposição e decomposição de material vegetal poderiam ser considerados como fontes deste macronutriente.

Corroborando com os resultados obtidos neste trabalho, Barros et al. (2012) estudando K em solos de Terra Preta em Caxiuanã encontraram teores aproximados de  $0,09 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  na área chamada Mina I e  $0,12 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  na área identificada como Manduquinha.

Silva et al.(2012) estudando TPI no sul do Estado do Pará, observaram que os maiores teores de K foram encontrados na superfície de 0 a 3 cm ( $1,45 \text{ g kg}^{-1}$ ) sendo que nas camadas de 3 a 33 e 33 a 42 cm o teor de K manteve-se constante ( $1,30 \text{ g kg}^{-1}$ ) e Moreira (2007), estudando sítios de TPI na Amazônia Central observou que na camada de 0 a 10 cm que variaram de 26,89 a  $120,89 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ . Semelhante ao encontrado em Caxiuanã.

Falcão et al.. (2009) relataram que em diversos trabalhos de caracterização química das TPI foi observado que o potássio não está presente em altas concentrações. Vieira (apud, 1988) descrevendo perfis de Latossolo Amarelo com A antrópico do Município de Manacapuru (AM) encontrou uma relação decrescente de  $\text{Ca}^{++}$  ( $9,39 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) >  $\text{Mg}^{++}$  ( $1,91 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) >  $\text{K}^+$  ( $0,07 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ).

Arruda et al. (2009), experimentando diferentes doses de esterco de galinha em Latossolo Amarelo, observaram que a reação desse solo em resposta aos teores de K foram crescentes ao longo de três anos, sendo respectivamente de  $0,08 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  no primeiro ano,  $0,18 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  no segundo ano e  $0,61 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  no terceiro ano.

Segundo Botelho et al. (2010) as principais fontes orgânicas de K são o resíduo da mandioca (manipueira<sup>1</sup>)  $1,69 \text{ g kg}^{-1}$  e o esterco de galinha  $49 \text{ g kg}^{-1}$ ,

estudos comprovam que a aplicação de  $48 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de manipueira equivalem a  $267 \text{ kg ha}^{-1}$  de uréia,  $400 \text{ kg ha}^{-1}$  de SFT e  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de KCl.

Considerando-se estudos realizados por outros pesquisadores assim como os resultados obtidos neste trabalho podemos concluir que as áreas cultivadas com mandioca assim como os locais destinados para o processamento da farinha influenciaram nos altos teores de potássio.

Não diferente do observado para as outras variáveis os teores de K são diferentes entre as TPIs o que reforça a teoria que o sistema de manejo e o hábito alimentar foram determinantes na formação desse solo, assim como a “competição” do cálcio e magnésio, os quais provocam a redução dos teores de potássio.

Os teores de potássio e cálcio na camada de 0 a 5 cm foram estatisticamente diferentes entre os três sistemas de manejo, diferente do ocorrido com o teor de magnésio o qual foi superior somente em ARG1 RÇ. Os altos teores de magnésio são marcantes nos solos em atividade agrícola devido à reação ocorrida com a CTC, em solos que apresentem baixo CTC a disponibilidade de magnésio será alto, assim como os teores de potássio não superam os de magnésio. Nas camadas de 5 a 10 e 10 a 20 cm os teores cálcio foram superiores aos de potássio e magnésio.

Um dos atributos químicos marcante na TPI é a presença de altos teores de cálcio. Sugere-se que, as principais fontes de cálcio em TPI sejam: conchas de água doce, ricas em  $\text{CaCO}_3$ , fragmentos de carvão vegetal, restos vegetais e animais.

Moreira et al. (2009) estudando diferentes áreas de TPI observaram altos teores de Ca trocável, variado de  $0,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  em Santarém (PA) e  $23,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  em Manaus (AM). Esses valores são superiores aos encontrados em outros solos representativos da Amazônia. Em média, as áreas de TPI apresentam  $3140 \text{ mg kg}^{-1}$  de Ca total, o que mostra o significativo aporte de cálcio advindo do acúmulo de material vegetal e animal depositado a longo do tempo, diferentemente do observado em Latossolo ( $70,0 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e Argissolos ( $44,0 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

Corroborando com os teores encontrados nessa pesquisa, Barros et al. (2012) estudando três áreas distintas de TPI em Caxiuanã, encontraram teores de cálcio que variaram de 9 a  $10,18 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ .

Oblitas Mendonza (2011), trabalhando com TPI em roça, capoeira de 20 anos e capoeira de 30 anos mais aberta, obteve respectivamente os seguintes teores

de Ca, 0,93; 4,85 e 0,12  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ . Esses valores confirmam os teores encontrados em Caxiuanã, uma vez que os sistemas de produção e ou uso do solo são semelhantes.

Brasil e Cravo (2010) indicaram as quantidades mínimas e suficientes, em termos de exigências, para as principais culturas. Teores iguais ou abaixo de  $1,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  são considerados baixo, teores de cálcio na faixa de 1,5 a  $3,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  são considerados médios e iguais ou acima de  $3,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , são classificados como altos. Os teores de cálcio observados em TPI podem ser classificados como média a alta.

Indícios arqueológicos indicam que a deposição conchas de água doce, fragmentos de carvão, ossos e carcaças de animais, assim, como o hábito social e alimentar de cada etnia, sejam a principal fonte de cálcio. Outra característica que confirma os teores de cálcio em TPI é a reação do solo através do pH, o qual favorece o aumento nos teores de Ca (Figura 17).

Somente para o magnésio ocorreu resultado significativo para a equação de regressão, sendo que no sistema de ARG1 RÇ houve um decréscimo de  $2,50 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de magnésio para cada 10 cm de camada. Seguido pelo sistema TPI/ARG1 FS que ocorreu um decréscimo de  $1,63 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ . Sendo que no sistema de ARG1 CP o teor de magnésio foi de  $1,76 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , inferior aos observados nos sistema de ARG1 RÇ e TPI/ARG1 FS (Figura 18).

O magnésio ocorre, em minerais, no complexo de troca catiônica e na solução do solo, como cátion  $\text{Mg}^{2+}$ , que é a forma absorvida pelas plantas. Comparado ao cálcio, o magnésio ocorre em menores concentrações no solo. Assim como, em solos com alta CTC os teores de magnésio são menores, e os teores de potássio não superam os de magnésio (RAIJ, 2011).

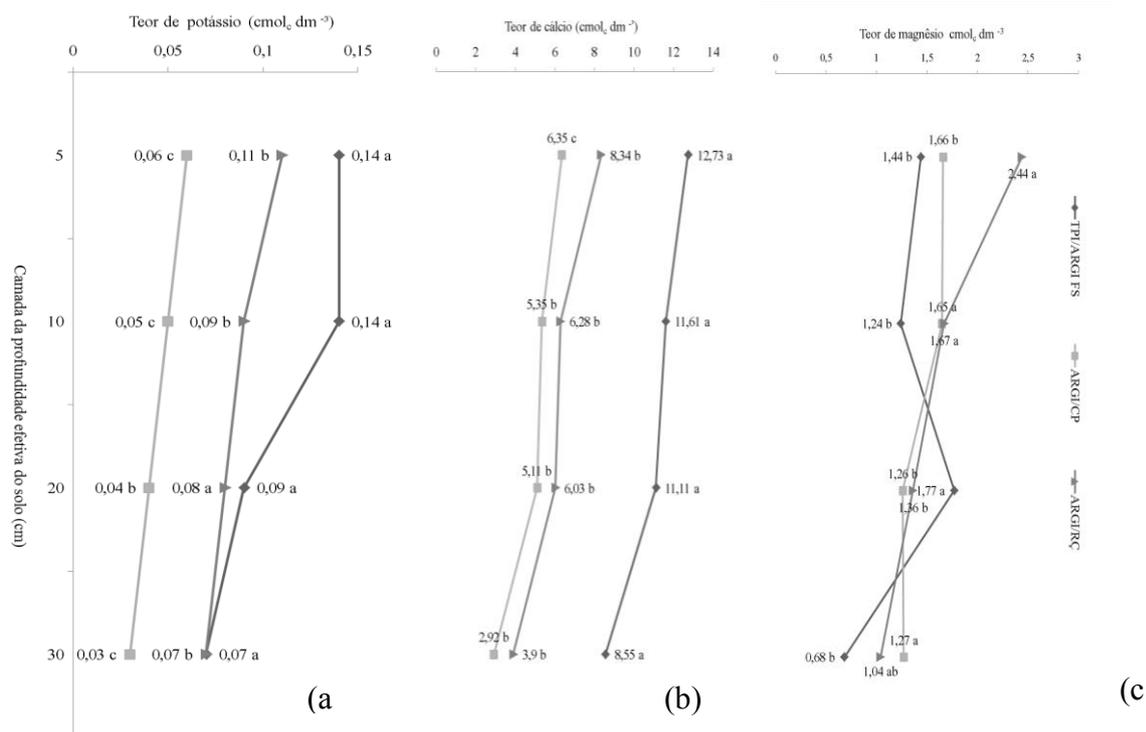


Figura 17. Teores de potássio, cálcio e magnésio (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) na camada da profundidade efetiva de solo antropizado (SA) em sistemas de manejo em Terra Preta de Índio formada sobre um Argissolo Amarelo sob floresta secundária (TPI/ARGI FS); Argissolo Amarelo sob capoeira (ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob roça (ARGI RÇ) na Floresta Nacional de

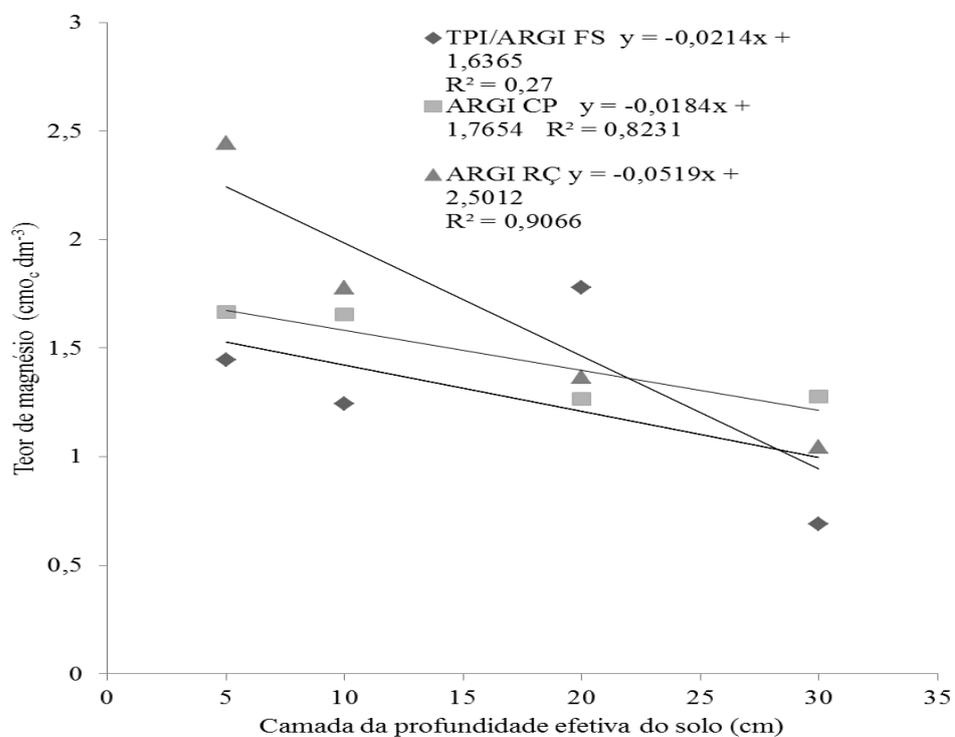


Figura 18. Teor de magnésio (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) em função da camada da profundidade efetiva do solo e do área em Terra Preta de Índio formada sobre um Argissolo Amarelo sob Floresta secundária (TPI/ARGI FS), Argissolo Amarelo sob Capoeira (ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob roça (ARGI RÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA.

Brasil (2010) considera como baixo teor de magnésio valor igual ou inferior a  $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , valores na faixa de  $0,5$  a  $1,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  são considerados médios e teores iguais ou superiores à  $1,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  são considerados altos. Ressaltamos que essa classificação foi definida para as principais classes de solos de ocorrência na Amazônia. Considerando-se esse parâmetro, a TPI apresenta altos teores de magnésio disponível no solo, possivelmente a principal fonte de magnésio em TPI seja os fragmentos de conchas.

Corroborando, Falcão et al. (2009), estudaram dez sítios de TPI no Amazonas e observaram que os valores médios de magnésio foram de  $1,31 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ . Barros et al. (2012) constataram que em floresta secundária de 25 anos em pousio o teor de magnésio foi de  $0,53 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , em floresta secundária com 30 anos de pousio o teor de magnésio foi de  $0,48 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e em área de vegetação secundária de  $1,62 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ . Os teores médios de magnésio observados por Moreira et al. (2009) variaram de  $0,5$  a  $2,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  foram semelhantes aos obtidos na TPI de Caxiuanã.

Teores semelhantes aos encontrados em Caxiuanã foram descritos por Moreira (2007) em TPI no Amazonas, que registrou valores médios de  $2,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ . É válido observar que os maiores teores de magnésio, ocorrem em solos agricultáveis, os quais, via de regra apresenta baixa CTC e alta acidez.

#### 6.4.2. Sódio (Na)

A Tabela 11 mostra o resumo da análise de variância para os teores de sódio (Na) encontrados em solo antropizado, na camada da profundidade efetiva do solo e na interação entre eles. A média geral foi de  $0,06 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$

Tabela 11. Resumo da análise de variância para teores de sódio (Na) em solo antropizado formado sobre Argissolo Amarelo, em área, na profundidade efetiva do solo e interação entre eles na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA.

| Fonte de variação                              | GL | Na<br>$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ |
|--|----|---------------------------------------|
| Sistema de manejo sob solo antropizado (SMSA)  | 2  | **                                    |
| Camada da profundidade efetiva do solo (Prof.) | 3  | ns                                    |
| Interação (SMSA x Prof.)                       | 6  | ns                                    |
| CV (%)   | -  | 45,03                                 |
| Média geral                                    | -  | 0,06                                  |
| DMS  | -  | 0,01                                  |

GL: grau de liberdade; CV: coeficiente de variação; DMS: diferença mínima significativa; \*\* significativo ao nível de 5% de probabilidade e não significativo (ns) pelo teste de Tukey.

Devido os teores de sódio em solos da Amazônia não serem representativos, o estudo deste elemento tem sido restrito. Porém, a ocorrência de teores significativos em solo antropizado, como é o caso da TPI tem suscitado o interesse de alguns pesquisadores em compreender a ocorrência deste sal em solos antrópico. O estudo dos teores de sódio em solos. Assim como pelo fato do sódio compor a soma de bases e CTC e a CTC efetiva. Na Figura 19 observa-se que o maior teor de sódio ocorreu em TPI/ARGI FS seguido de ARGI RÇ e ARGI CP.

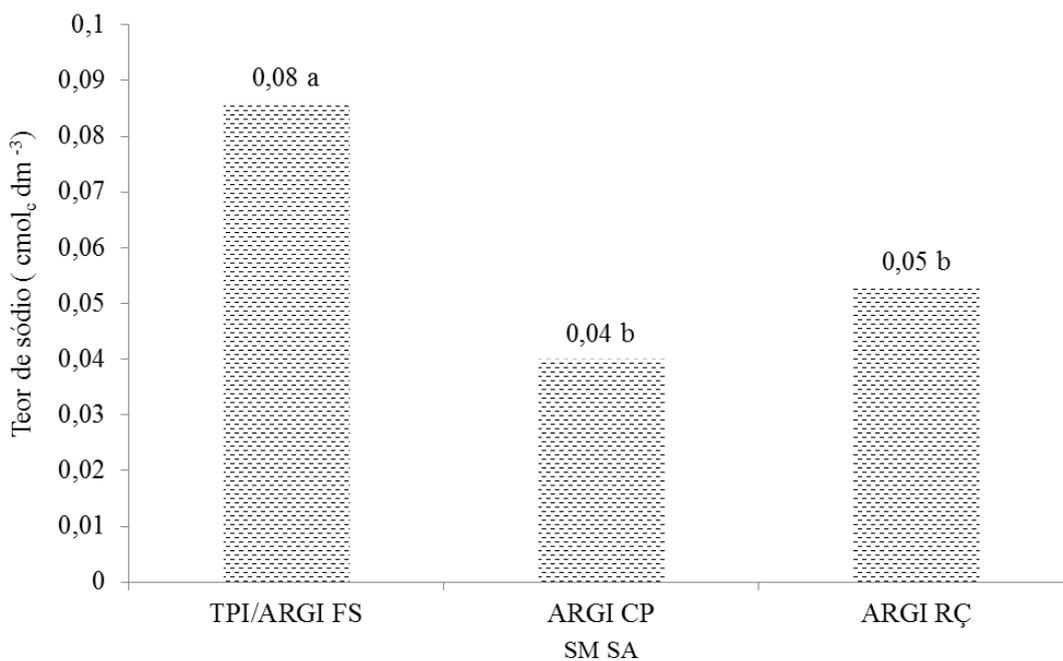


Figura 19. Teor de sódio (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) em sistemas de manejo em Terra Preta de Índio formada sobre um Argissolo Amarelo sob floresta secundária (TPI/ARGI FS ); Argissolo Amarelo sob capoeira (ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob roça (ARGI RÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA.

Meurer et al. (2010) descreveram as principais causas que podem justificar altos teores de sódio no solo as quais são: material de origem; alta evaporação; salinização pela água do mar; ascensão do lençol freático, e pH geralmente alcalino. Apesar das TPI apresentarem alta variabilidade nos teores de sódio não é classificado como: salinos, sódicos ou salino-sódicos.

É válido ressaltar que os teores de sódio encontrados em TPI são variáveis. Schmidt et al. (2009) observaram que na camada de 0 a 5 cm o teor de sódio foi de  $161 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , na camada de 5 a 10 cm foi reduzido para  $128 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , seguido pela camada de 10 a 20 cm com  $80 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , havendo um crescimento na camada de 20 a 30 cm de  $135 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ . O mesmo autor registrou que em áreas cultivadas com mandioca para as mesmas camadas os teores de sódio foram respectivamente 21, 32 e  $85 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ . Com isso, observa-se que os teores de sódio variaram conforme o área e uso do solo.

Moreira et al. (2009) observaram grande variabilidade nos teores de sódio em áreas de Terra Preta onde a variação foi de  $0,16 \text{ cmol}_c \text{ dm}^3$  (extrator Mehlich 1) a  $0,11 \text{ cmol}_c \text{ dm}^3$  (extrator Mehlich 3), essa amplitude, possivelmente, é ocasionada pela localização das áreas, hábito alimentar, tamanho e período de ocupação.

Schmidt et al. (2009) analisaram quatro amostras de TPI de duas aldeias historicamente abandonadas, as amostras foram coletadas da lixeira ( $7,2 \text{ mg kg}^{-1}$ ), casa ( $5,2 \text{ mg kg}^{-1}$ ), praça ( $5,1 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e uso doméstico ( $5,8 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e 14 amostras de uma aldeia atual chamada de lixeira ( $0,07 \text{ mg kg}^{-1}$ ), casa ( $0,02 \text{ mg kg}^{-1}$ ), praça ( $0,01 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e uso doméstico ( $0,035 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

O mesmo autor esclarece que os altos teores de sódio, encontrado nas amostras coletadas nas aldeias abandonadas são resultantes de um maior impacto antrópico no solo, independente de serem áreas abandonadas ou não. As áreas onde há preparação e o consumo de comida os níveis de P, Ca, K, Fe, Mg e Na foram mais altos, devido à deposição dos restos alimentares. Diferente dos resultados encontrados nas áreas chamadas de praças, as quais são mantidas limpas para as festas, cerimônias e esportes.

O comportamento do sódio tende a ser semelhante ao do potássio ambos, são facilmente lixiviados, o que ocasiona baixos teores de Na e K disponível no solo.

#### **6.4.3. Boro (B), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Zinco (Zn).**

A Tabela 12 mostra o resumo da análise de variância em área sobre solo antropizado, na camada da profundidade efetiva do solo e interação entre sistema de manejo sob solo antropizado (SASM) e profundidade (Prof.). O boro é o mais móvel dos micronutrientes e em solos de textura leve é rapidamente lixiviado. Um dos fatores que podem reduzir a disponibilidade de boro no solo é a baixa acidez associados à adsorção em

solos mais argilosos. Considerando-se que a textura da TPI é arenosa, a presença de boro é justificada pelos altos teores de matéria orgânica e baixa acidez. Ou seja, a adsorção do boro em TPI é realizada pela presença da MOS.

Tabela 12. Resumo da análise de variância para teores de Boro (B), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Zinco (Zn) em solo antropizado formado sobre Argissolo Amarelo, em área, na profundidade efetiva do solo e interação entre eles na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA.

| Fonte de variação                              | GL | B                   | Cu   | Fe    | Mn    | Zn    |
|--|----|---------------------|------|-------|-------|-------|
|  |    | mg dm <sup>-3</sup> |      |       |       |       |
| Sistema de manejo sob solo antropizado (SMSA)  | 2  | **                  | **   | **    | **    | **    |
| Camada da profundidade efetiva do solo (Prof.) | 3  | ns                  | ns   | **    | **    | **    |
| Interação (SMSA x Prof.)                       | 6  | ns                  | ns   | **    | **    | ns    |
| CV (%)   | -  | 21,27               | 38,1 | 11,71 | 26,91 | 30,61 |
| Média geral                                    | -  | 0,19                | 0,69 | 54,9  | 15,33 | 1,77  |
| DMS  | -  | 0,023               | 0,14 | 3,61  | 2,31  | 0,3   |

GL: grau de liberdade; CV: coeficiente de variação; DMS: diferença mínima significativa; \*\* significativo ao nível de 5% de probabilidade e não significativo (ns) pelo teste de Tukey.

Dentre os micronutrientes, o cobre é o que mais interage com os compostos orgânicos do solo, com isso a maioria das deficiências de cobre tem sido observada em solos orgânicos. Pesquisas relacionadas com teores de cobre em TPI ainda são escassas, sugere-se que sejam realizadas a fim de compreender a função do cobre no complexo sistema de TPI.

Os teores naturais de ferro no solo são geralmente elevados, e aparentemente não sofrem grande variação pelo efeito da instalação de culturas agrícolas. Excepcionalmente em áreas onde existam artefatos e destroços depositados. Associadas a estes, são observadas em restos de ocupação pré-europeia, material fecal, restos de cinzas e vestígio de acampamentos. Por esse motivo somado à grande mobilidade do ferro, possivelmente esse nutriente, não seja muito utilizado como indicador de assentamentos em estudos arqueológicos de solos (WOODS, 2009).

A Figura 20 mostra que teores de cobre, ferro, manganês e zinco foram superiores em TPI/ARGI FS e os maiores teores de boro em ARGI RÇ. Sendo que

os micronutrientes Fe, Mn e Zn apresentaram diferenças significativas entre os sistemas de manejo.

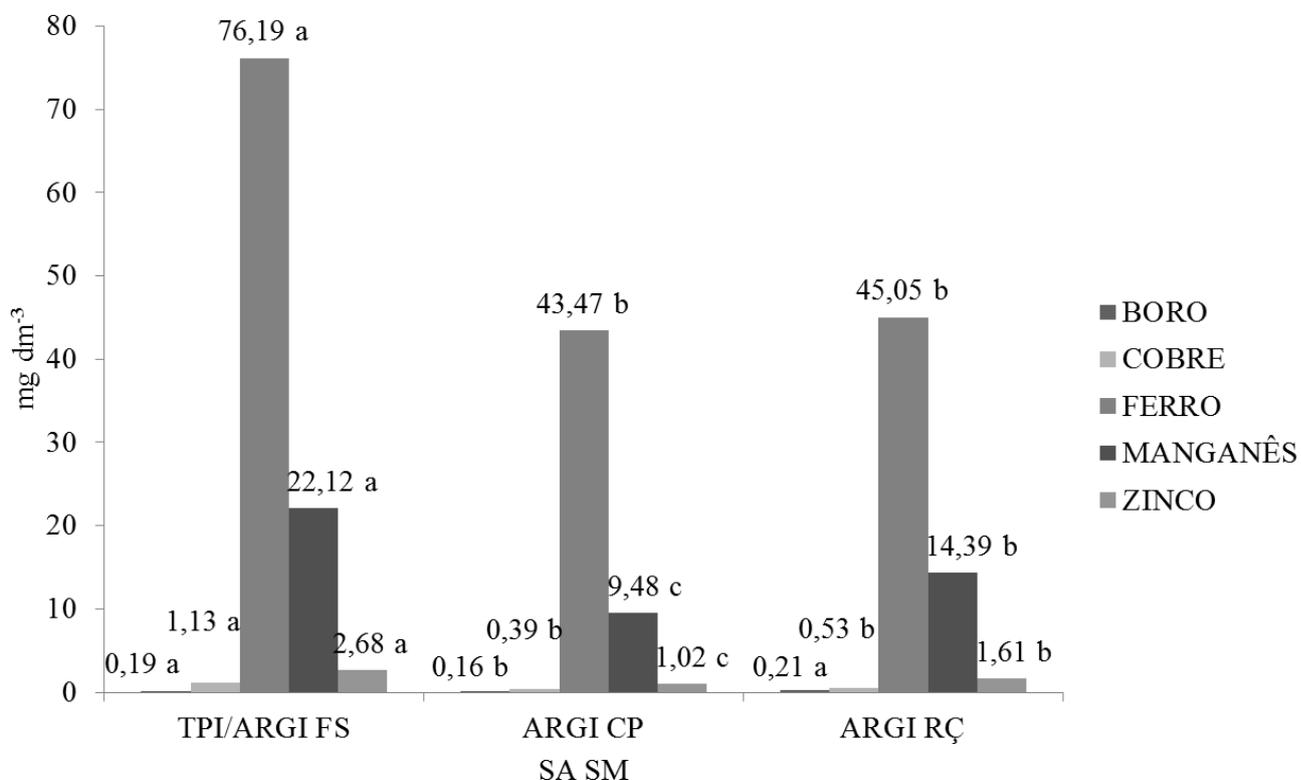


Figura 20. Teor de boro, cobre, ferro, manganês e zinco ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) sódio em sistemas de manejo em Terra Preta de Índio formada sobre um Argissolo Amarelo sob floresta secundária (TPI/ARGI FS); Argissolo Amarelo sob capoeira (ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob roça (ARGI RÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã PA.

Corroborando Falcão et al. (2009), investigando os teores de cobre em TPI que variaram de 0,57 a 1,23  $\text{mg kg}^{-1}$ , observaram que na fração argila do solo os teores de cobre em Argissolo Amarelo com camada A antrópico foi 104  $\text{mg kg}^{-1}$ . Fato relevante, foi observado por Schmidt et al. (2009) quando indica que os teores de cobre variam conforme o uso da área, onde em área de roça de mandioca os teores de cobre foram 1,0 e 0,6  $\text{mg dm}^{-3}$ , corroborando com os resultados encontrados em área de roça de mandioca estudada nessa pesquisa.

O resultado obtido na profundidade efetiva do solo para os teores de ferro e zinco foram significativos na camada de 0 a 5 e 5 a 10 cm e os teores de manganês nas camadas de 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm dos sistemas de manejo de TPI/ARG FS, ARGICP e ARGIRÇ (Figura 21).

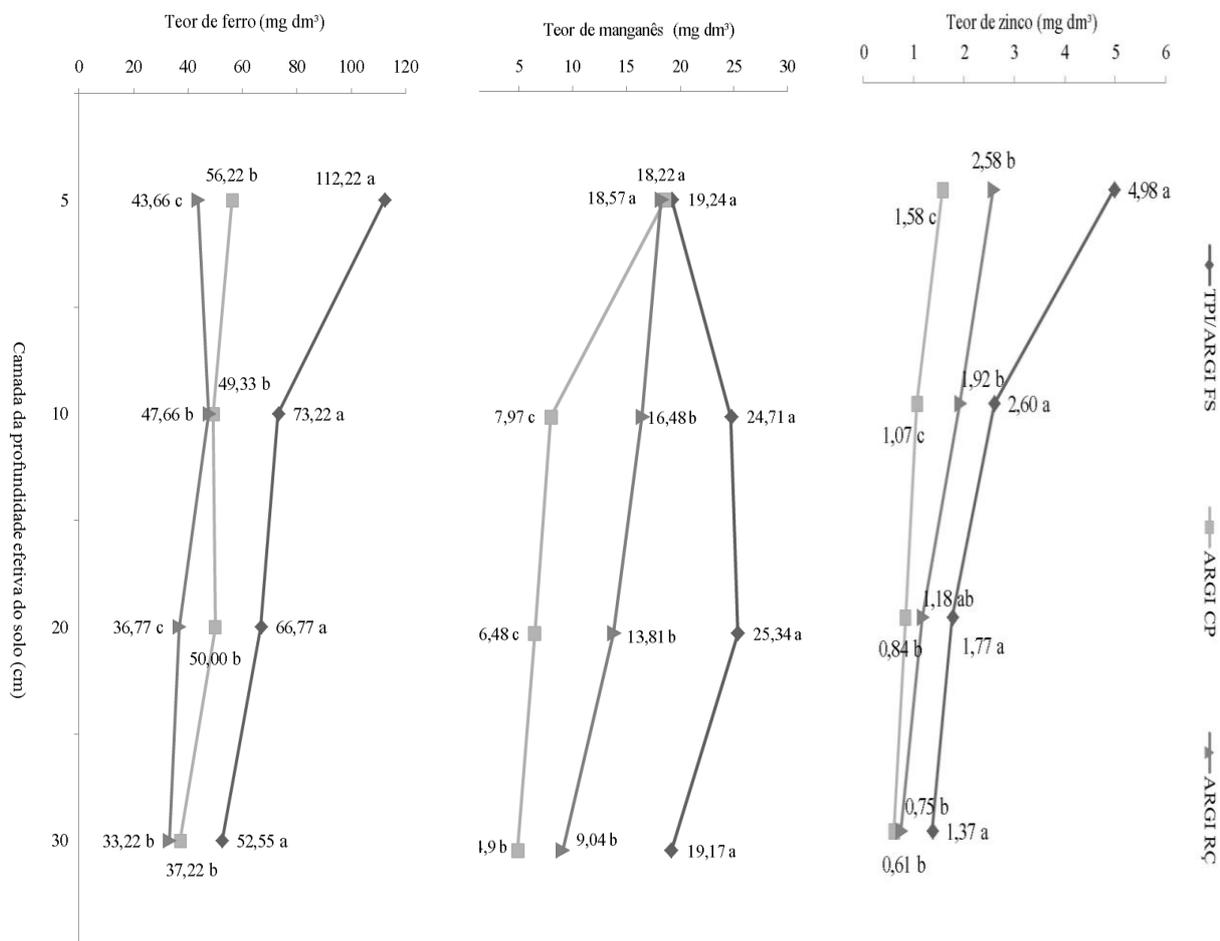


Figura 21. Teor de ferro, manganês e zinco ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) na camada da profundidade efetiva do solo em Terra Preta de Índio formada sobre um Argissolo Amarelo sob floresta secundária ( TPI/ARGI FS); Argissolo Amarelo sob capoeira (ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob roça (ARGI RÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA.

Schmidt et al. (2009) investigando diferentes áreas produtivas em TPI, observaram que em área de floresta distante dos sítios de TPI os teores de ferro na camada de 0 a 5 cm foram de  $1020 \text{ mg kg}^{-1}$ , seguido de  $1129 \text{ mg kg}^{-1}$  na camada de 5 a 10 cm,  $1022 \text{ mg kg}^{-1}$  na camada de 10 a 20 cm e  $1165 \text{ mg kg}^{-1}$  na camada de 20 a 30 cm.

Nas áreas denominadas de lixeiras para as mesmas camadas observadas na área de floresta, foram obtidos os seguintes teores respectivamente 276, 315, 352 e  $578 \text{ mg kg}^{-1}$ . Os teores de ferro observados na área domésticas são semelhantes aos

encontrados na área da floresta, pode-se inferir que essas áreas não são utilizadas para descarte e acúmulo de material.

Falcão e Borges (2006) observaram que um pomar estabelecido sobre TPI foram delimitadas duas áreas de cultivo de mamão, sendo que em uma foi realizada adubação e na outra não, os teores de ferro não foram estatisticamente diferentes tendo sido respectivamente 14,45 e 15,96 mg kg<sup>-1</sup>. Diferente do ocorrido em terra mulata, que apresentaram respectivamente os seguintes teores de ferro 57,72 e 25,21 mg kg<sup>-1</sup>.

A equação de regressão demonstra que em TPI/ARGI FS houve um decréscimo no teor de ferro de 109,12 mg dm<sup>-3</sup> seguido pelo sistema ARGI CP que ocorreu um decréscimo de 58,26 e área ARGI RÇ com 49,47 mg dm<sup>-3</sup> para cada 10 cm na camada da profundidade efetiva do solo. Diferente do ocorrido para os teores de manganês que a cada 10 cm de profundidade ocorreu um decréscimo de 20,20 mg dm<sup>-3</sup> (Figura 22).

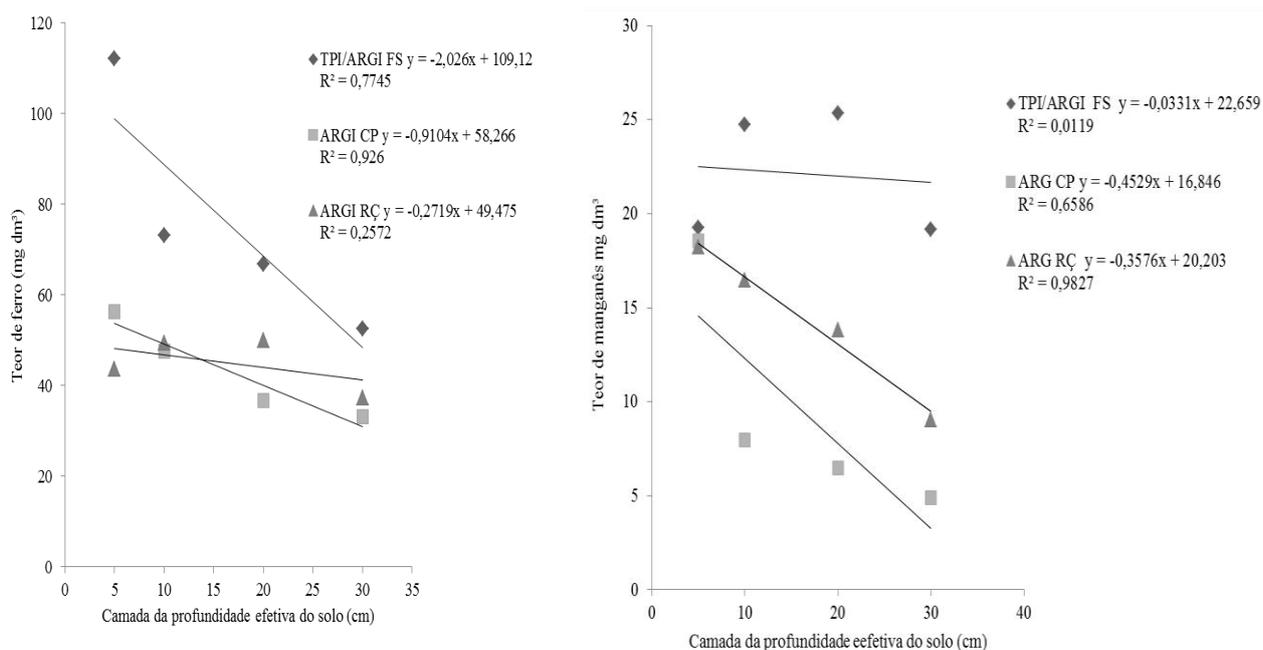


Figura 22. Teor de ferro (a) e manganês (b) (mg dm<sup>-3</sup>) em função da camada da profundidade efetiva do solo e do área em Terra Preta de Índio formada sobre um Argissolo Amarelo sob Floresta secundária (TPI/ARGI FS), Argissolo Amarelo sob Capoeira (ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob roça (ARGI RÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã – PA, 2011.

Corroborando, Silva et al. (2012), observaram que a reação do solo aos teores de manganês foram decrescente a medida que aumentava a camada, sendo que

na camada de 0 a 3 cm o teor de Mn foi de  $1,11 \text{ g kg}^{-1}$ , na camada de 3 a 33 cm foram  $0,94 \text{ g kg}^{-1}$  e na camada de 33 a 42 cm.

É válido destacar que os altos valores de MOS e alto pH encontrados em TPI, inibem a assimilação de manganês favorecendo à formação de complexos organo – minerais insolúveis, ou mesmo devido à retenção sob forma trocável (ROCHA, 1995).

A deficiência de zinco pode ser causada por alto valor de pH associada a solos argilosos, os teores médios de Zn analisados neste trabalho foram de  $1,77 \text{ mg dm}^{-3}$ . Segundo Cravo et al. (2007) valores entre 0,9 a  $2,2 \text{ mg dm}^{-3}$  são considerados como média disponibilidade no solo. Semelhante aos resultados obtidos neste trabalho, foi observado que a disponibilidade de zinco em amostras de TPI, indicaram grandes amplitudes que variaram de  $0,77$  a  $69,55 \text{ mg dm}^{-3}$  (MOREIRA et al., 2009).

Falcão e Borges (2006) observaram que em TPI natural o teor de zinco foi de  $9,68 \text{ mg k}^{-1}$  e em TPI adubada os teores de zinco foram respectivamente  $9,68$  e  $13,21 \text{ mg kg}^{-1}$  semelhantes aos encontrados neste estudo nos solos de Caxiuanã. Os teores de zinco encontrados em TPI diferem entre sítios, o que confirma a teoria de que o uso e manejo do solo associado ao hábito alimentar interferem na disponibilidade deste nutriente em solos antropizado especialmente na TPI.

Essas diferenças dentro da TP, possivelmente são consequências de sua localização, haja vista que os sítios situados nas proximidades dos rios de água barrenta (maior quantidade de sedimentos), normalmente apresentam maiores teores quando comparados com os localizados às margens dos rios de águas escuras ou claras (MOREIRA et al., 2009).

De acordo com Lopes et al. (2010), foi observado que a ação da MOS sobre os micronutrientes, é devido a constituição da matéria orgânica por ácidos húmicos e fúlvicos, polifenóis, aminoácidos, peptídeos, proteínas e polissacarídeos. Esses compostos são responsáveis pela formação de complexos orgânicos com Fe, Mn, Cu e Zn do solo podendo diminuir a solubilidade desses micronutrientes, formando complexos com ácidos húmicos, ou elevar os complexados por ácido fúlvico e os outros compostos orgânicos descritos anteriormente.

Conforme, Brasil et al. (2010), a disponibilidade dos micronutrientes nos solos de ocorrência o Estado do Pará, segue o seguinte parâmetro: Boro  $< 0,35$  (baixa),  $0,35 - 0,90$  (média) e  $> 0,90$  (alta); Cobre  $< 0,70$  (baixa),  $0,70 - 1,80$

(média) e > 1,80 (alta); Ferro < 18 (baixa), 18 – 45 (média) e > 45 (alta); Manganês < 5 (baixa), 5 – 12 (média) e > 12 (alta) e Zinco < 0,90 (baixa), 0,90 – 2,2 (média) e > 2,2 (alta).

Considerando-se as médias obtidas no resumo de variância, observa-se que os teores de boro e cobre são baixos, os teores de ferro e manganês são altos e o teor de zinco é médio. Ressaltamos que tratando-se do uso e manejo de solos antropizados, também deve-se tomar como referência a exigência nutricional da cultura a ser estabelecida. Por tanto é válido ressaltar que estudos referentes a disponibilidade de micronutrientes em solos antropizados ainda são escassos.

#### 6.4.4. Acidez ativa (pH)

A Tabela 13, mostra o resumo da análise de variância para a acidez ativa medida através do pH em H<sub>2</sub>O e CaCl<sub>2</sub> em área sobre solo antropizado, na camada da profundidade efetiva do solo e interação entre sistema de manejo sob solo antropizado (SASM) e profundidade (Prof.).

Tabela 13. Resumo da análise de variância para a reação do solo no pH em H<sub>2</sub>O e CaCl<sub>2</sub> em solo antropizado formado sobre Argissolo Amarelo, em área, na profundidade efetiva do solo e interação entre eles na Floresta Nacional de Caxiuanã, 2011.

| Fonte de Variação                              | GL | pH               |                   |
|--|----|------------------|-------------------|
|  |    | H <sub>2</sub> O | CaCl <sub>2</sub> |
| Sistema de manejo sob solo antropizado (SMSA)  | 2  | **               | **                |
| Camada da profundidade efetiva do solo (Prof.) | 3  | ns               | ns                |
| Interação (SMSA x Prof.)                       | 6  | ns               | ns                |
| CV (%)   | -  | 8,42             | 10,34             |
| Média geral                                    | -  | 5,77             | 5,11              |
| DMS  | -  | 0,27             | 0,29              |

GL: grau de liberdade; CV: coeficiente de variação; DMS: diferença mínima significativa; \*\* significativo ao nível de 5% de probabilidade e não significativo (ns) pelo teste de Tukey.

Conforme a classificação para a reação do solo através da análise do pH em H<sub>2</sub>O (solo/água 1:2, 5) descrita por EMBRAPA (2006) é considerado fortemente ácido unidades de pH que variam de 4,3 a 5,3 e moderadamente ácido unidades de pH no intervalo de 5,4 a 6,5. A determinação do pH em CaCl<sub>2</sub> (0,01 mol L<sup>-1</sup>) classifica acidez como alta quando o valor do pH varia entre 4,4 e 5,0 e média no intervalo de 5,1 a 5,5 (RAIJ, 2011).

Com isso, a acidez em TPI apresentada nesse estudo, varia de moderadamente ácida a fortemente ácida. Sendo que a unidade de pH em H<sub>2</sub>O para Argissolo e Latossolo são via de regra menor que 4,3 o que os classifica como extremamente ácido. Com isso o nível de acidez em TPI é um diferencial para a fertilidade desses solos. O área TPI/ARGI FS apresentou unidade de pH em H<sub>2</sub>O e CaCl<sub>2</sub> estatisticamente superiores aos encontrados em ARGI RÇ e ARGI CP (Figura 23).

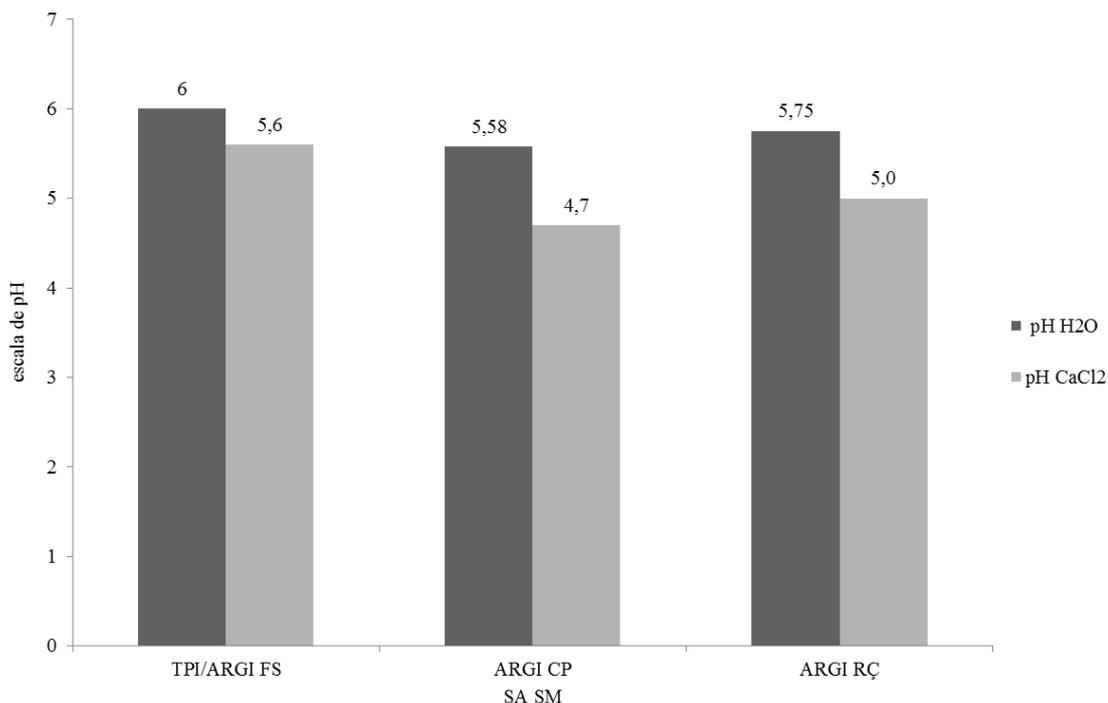


Figura 23. pH em H<sub>2</sub>O e CaCl<sub>2</sub> em área sobre Terra Preta de Índio formada sobre um Argissolo Amarelo sob Floresta secundária (TPI/ARGI FS), Argissolo Amarelo sob Capoeira (ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob roça (ARGI RÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA.

Pode-se afirmar que a área com uso controlado do fogo através da coivara, o tempo de descanso e a produção de matéria orgânica contribuíram para a baixa acidez em TPI/ARGI FS.

Moreira et al. (2009) justificaram que os altos valores de pH em camadas atroizadas são decorrentes dos mesmos estarem localizados nas proximidades das margens dos rios de água barrenta, os quais são caracterizados pela riqueza de sedimentos provenientes da cordilheira dos Andes e dos rios ou igarapés de águas negras ou claras, que ao contrário apresentam acidez elevada e pouco sedimentos. Outra hipótese para justificar

a baixa acidez das TPI quando comparada aos Latossolo e Argissolos, são os altos teores de MOS.

Kämpf (2009) estudando a classificação das Terras Pretas, verificou que os solos antrópicos na cor cinza apresentaram pH com valor médio de 5,3 e os solos antrópicos na cor preta o valor médio do pH foi de 5,7.

Falcão et al. (2009), estudaram amostras de solos coletadas na camada superficial de dez sítios arqueológicos de TPI, localizados em alguns municípios próximos a cidade de Manaus, AM, apresentaram valores de pH (H<sub>2</sub>O) que variaram de 4,3 a 6,6. Valores semelhantes foram encontrados por Barros et al. (2012) quando estudaram os sítios de TPI em Caxiuanã. Lima et al. (2009) registraram valores diferenciados entre sítios de Terra Preta formados sobre Argissolo Amarelo eutrófico antrópico (5,2), Latossolo Amarelo eutrófico antrópico (6,1) e Cambissolos eutróficos antrópicos (6,2).

Corroborando Falcão e Borges (2006) observaram que em solos de Terra Preta não adubada e Terra Preta adubada, ambos para cultivo de mamão Havaí, no Estado do Amazonas, obtiveram valores de pH em H<sub>2</sub>O respectivamente 5,91 e 5,86. Os quais refletem que independente da área a reação do solo de TPI, responde positivamente para o nível aceitável de acidez para alguns cultivos agrícolas.

Schmidt et al. (2009), observaram a formação da TPI na região do alto Xingu, analisou amostras de solos de diferentes partes da aldeia indígena Kuikuro I e o Sítio pré – histórico Nokugu e obteve valores aproximados de pH. Sendo que os maiores valores de pH foram de 7,5 na área da lixeira (áreas circulares descontínuas, constituídas principalmente pelo lixo orgânico decomposto e amontoado a uma altura de aproximadamente 40 cm acima do solo), isso sugere que as lixeira podem ser as áreas com maior impacto antrópico do solo e pH de 6,4 na área de uso doméstico (espaços em frente e no interior das casa e nos quintais, destinadas a preparação e consumo de comida; trabalho; dormitório; circulação; beneficiamento e processamento de mandioca, milho ou peixe e fogueiras para cozinhar e aquecer).

Arruda et al. (2009) experimentaram diferentes doses de esterco de galinha, em Latossolo Amarelo distrófico para cultivo de guaraná no Estado do Amazonas, e observaram o aumento do pH de 3,1 para 5,7 e 6,8 e a diminuição do alumínio trocável. Valores semelhantes foram observados por Silva et al. (2012) em sítios de TP na região sul do Estado do Pará. Moreira (2007) estudando 17 sítios de TP em Manaus obteve valor médio 4,3 de pH em CaCl<sub>2</sub>.

A acidez do solo de TPI está diretamente relacionada ao sistema não tecnificado, o tempo de cultivo seguido de descanso e a deposição de resíduo vegetal e decomposição da matéria orgânica. Observou-se que o revolvimento do solo pela atividade agrícola altera a acidez, sendo que no período de pousio a reação do solo torna-se mais ácida por ocasião da decomposição da matéria orgânica, seguida de um aumento no valor do pH à medida que o solo estabiliza através da ciclagem de nutrientes.

#### 6.4.5. Soma de base (SB), Acidez total a pH 7,0 ( H +Al) e Acidez trocável (Al<sup>3+</sup>)

O resumo da análise de variância para soma de base (SB) em área sobre solo antropizado, na camada da profundidade efetiva do solo e interação entre sistema de manejo sob solo antropizado (SASM) e profundidade (Prof.) são apresentadas na (Tabela 14).

Tabela 14. Resumo da análise de variância para soma de bases (SB) em solo antropizado formado sobre Argissolo Amarelo, em área, na profundidade efetiva do solo e interação entre eles na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA .

| Fonte de variação                              | GL | SB                                 | H+Al  | Al <sup>3+</sup> |
|--|----|------------------------------------|-------|------------------|
|  |    | cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> |       |                  |
| Sistema de manejo sob solo antropizado (SMSA)  | 2  | **                                 | ns    | **               |
| Camada da profundidade efetiva do solo (Prof.) | 3  | **                                 | **    | ns               |
| Interação (SMSA x Prof.)                       | 6  | ns                                 | ns    | ns               |
| CV (%)   | -  | 15,29                              | 24,38 | 49,35            |
| Média geral                                    | -  | 9,03                               | 5,81  | 0,09             |
| DMS  | -  | 0,77                               | 0,79  | 0,02             |

GL: grau de liberdade; CV: coeficiente de variação; DMS: diferença mínima significativa; \*\* significativo ao nível de 5% de probabilidade e não significativo (ns) pelo teste de Tukey.

Corroborando, Barros et al. (2012) encontraram valores semelhantes de alumínio no sítio Mina I (0,10 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), Mina II (0,10 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e Manduquinha (0,24 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) todos localizados em Caxiuanã. Silva et al. (2012) estudando mineralogia e geoquímica dos diferentes perfis de TPI no sudeste da Amazônia, não registraram teor de alumínio naquelas áreas.

Moreira (2007), estudando 17 áreas de TPI no Amazonas, na camada de 0 a 10 cm apresentou teor de 1,0 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> alumínio. E na camada de 0 a 20 cm o teor observado foi de 75 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. O mesmo autor, estudando a reação de resíduos vegetais no solo para possível formação de TPI, observou teores de médios de Al que

variaram de 0,40 a 1,3  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  em áreas que receberam resíduos e 0,3 a 1,3  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ , ambos considerados como baixos.

Contrapondo os resultados obtidos para  $\text{Al}^{+3}$  em TPI, Araújo et al. (2004), registraram em diferentes sistemas de manejo sobre Argissolo os maiores teores de alumínio ocorreram em uma área queimada e nas camadas de 0 a 5 e 5 a 10 cm, sendo respectivamente 3,2 e 3,8  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ . Diferente do observado neste trabalho, no qual, os maiores teores de  $\text{Al}^{+3}$  foram significativamente maiores no sistema de capoeira em regeneração seguido de sistema de roça, sendo que nas duas áreas o sistema utilizado é o de corte derruba e queima.

A acidez trocável refere-se a moléculas de alumínio ( $\text{Al}^{+3}$ ) e hidrogênio ( $\text{H}^+$ ) fixados nas superfícies dos colóides do solo com cargas elétricas em repouso, fazendo com que a acidez trocável e  $\text{Al}^{+3}$  se tornem equivalentes. O que resulta em maiores teores de alumínio em solo orgânico diferente do que é encontrado em solos minerais.

A principal reação de altos teores de acidez trocável nos solos ocorre diretamente no crescimento das plantas. O que pode ser corrigido através da adição de calcário. Considerando-se que a TPI apresenta altos teores de cálcio, o que justifica os baixos valores de alumínio encontrados nos sistemas de manejo na TPI em Caxiuanã. Com isso, as TPIs proporcionam condições favoráveis para o uso e manejo do solo nas atividades agrícolas.

O resultado da acidez potencial na profundidade efetiva do solo foi estatisticamente superior na camada de 0 a 5 cm no sistema TPI/ARGI FS, seguido ARGI CP e ARGI RÇ. Na camada de 5 a 10 cm os teores encontrados em TPI/ARGI FS e ARGI RÇ foram semelhantes entre si, mas diferente dos teores encontrados no sistema de ARGI CP. Na camada de 10 a 20 cm os valores de alumínio no sistema TPI/ARGI FS foi superior nos teores da acidez potencial quando comparado aos sistemas ARGI CP e na camada de 20 a 30 cm o área ARGI CP foi estatisticamente superior aos teores observados nos sistemas TPI/ARGI FS (Figura 24).

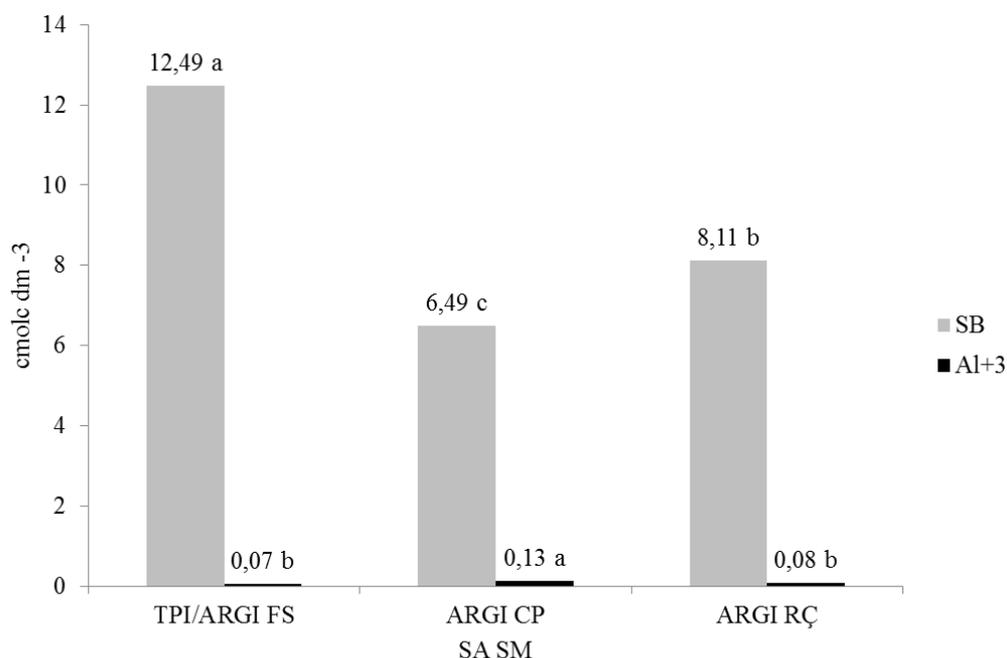


Figura 24. Teor de soma de base e alumínio em área em Terra Preta de Índio formada sobre um Argissolo Amarelo sob Floresta secundária (TPI/ARGI FS), Argissolo Amarelo sob Capoeira (ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob roça ( ARGI RÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA.

Corroborando Moreira (2007), analisando 17 áreas de TPI no Amazonas, observou que na camada de 0 a 10 cm o teor da acidez potencial foi 5,06  $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$  e na camada de 0 a 20 cm a acidez potencial foi de 6,93  $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ .

Moreira (2007) e Silva et al. (2012), observaram em manchas de TPI em floresta secundária, no sul do Estado do Pará, que na camada de 0 a 3 cm o teor da acidez potencial foi de 1,9  $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ , na camada de 3 a 33 cm o valor foi 1,8  $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$  e na camada de 33 a 42 cm o teor da acidez potencial foi 0,8  $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ . Provavelmente, a localização geográfica dos sítios estudados, interfere na disponibilidade de nutrientes, assim como, na reação do solo.

Estatisticamente houve efeito significativo entre TPI/ARGI FS, ARG I RÇ e ARG I CP na camada de 0 a 5 cm. Nas camadas de 5 a 10 e 10 a 20 cm a TPI/ARGI FS apresentou resultado estatisticamente superiores aos teores obtidos em ARG I RÇ e ARG I CP e na camada de 20 a 30 cm os valores da soma de base foram estatisticamente diferentes entre os três sistemas de manejo (Figura 25).

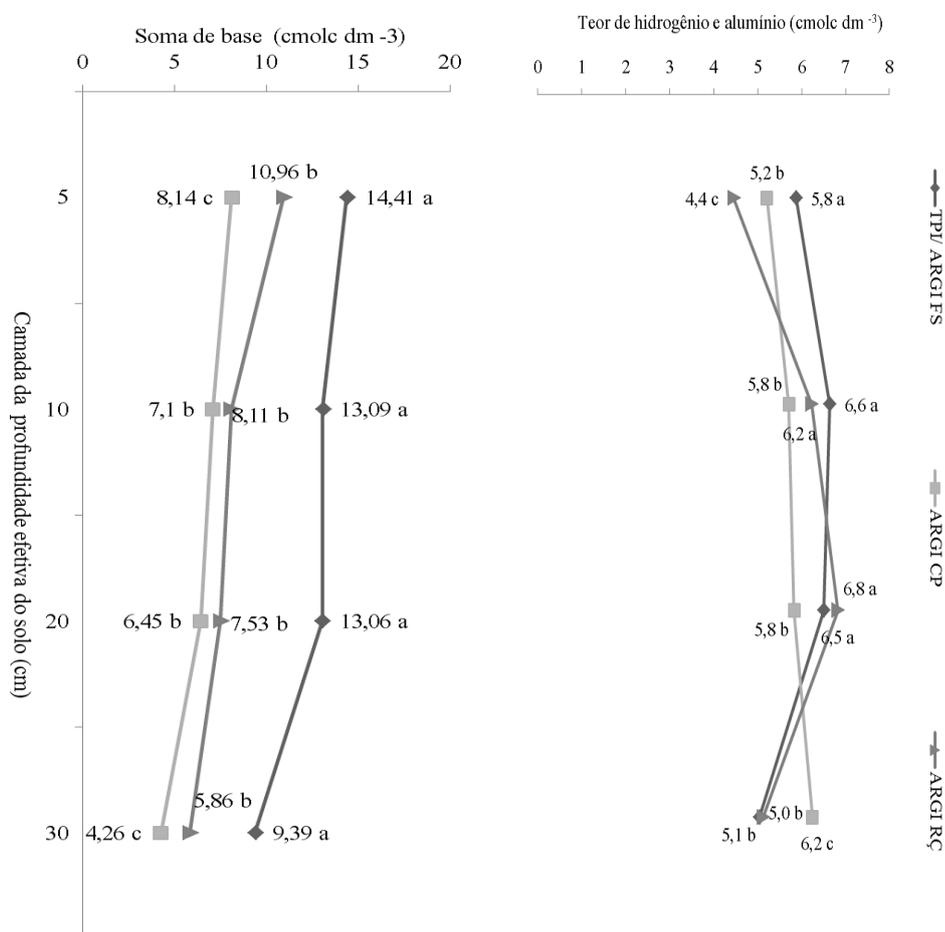


Figura 25. Teor de soma de base e hidrogênio e alumínio ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) na camada da profundidade efetiva do solo em Terra Preta de Índio formada sobre um Argissolo Amarelo sob Floresta secundária (TPI/ARGI FS), Argissolo Amarelo sob Capoeira (ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob roça (ARGI RÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã. PA.

Corroborando, Silva et al. (2012), investigando teores da soma de base em TPI sob floresta secundária, observaram que na camada de 0 a 3 cm os teores de soma de base foi  $9,9 \text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  esse valor foi inferior ao observado em Caxiuanã. Na camada de 3 a 33 cm o valor da soma de base foi de  $5,8 \text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  e na camada de 33 a 42 cm os teores observados foi de  $3,5 \text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ . Semelhante ao ocorrido em Caxiuanã, os teores de soma de base foram decrescendo à medida que aumentava a camada.

Falcão et al. (2006), investigaram o efeito da fertilidade da TPI no estado nutricional e na produtividade do mamão Havaí, observaram que os maiores teores

de bases trocáveis (K, Ca e Mg) foram registrados em TPI não adubada o qual foi de 5,59  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  e em TP adubada foi de 5,36  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ .

Falcão, Moreira e Comenford (2009), avaliaram a fertilidade dos solos de TPI da Amazônia Central, observaram que a variável SB apresentou valor muito mais alto nas TPIs quando comparado com solos adjacentes, sendo o valor médio da SB foi 8,55  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ .

Moreira (2009) ressalta que a acidez potencial tem sido relacionada à reação do solo. Sendo que à medida que o valor do pH aumenta o teor da acidez potencial diminui, ou seja, quanto maior a acidez maior a acidez potencial assim como, a interação da acidez potencial com a presença da MOS que em decomposição libera hidrogênio ( $\text{H}^+$ ) o qual interfere na acidez.

A acidez potencial nas TPI em Caxiuanã pode ser classificada como alta. Possivelmente devido o área utilizado, assim como o tempo de uso, de pousio e a disponibilidade de matéria orgânica no solo.

A presença de altos teores de bases trocáveis no complexo de troca de cátions do solo indica o numero de caras negativas dos coloides que está ocupado por base. Essa característica na TPI é resultante da reação do solo em contato com a MOS, o que propicia que as bases não sejam lixiviadas e sim adsorvidas no solo.

#### **6.4.6. CTC e CTC efetiva**

A Tabela 15 apresenta o resumo da análise de variância para CTC e CTC efetiva foi significativamente diferente entre sistemas e camadas não sendo significativo para a interação entre eles. O valor médio da CTC foi de 14,84 e CTC ef 9,13  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ . Corroborando, Schmidt et al. (2009) estudaram a formação da TPI na região do alto Xingu, observaram que teores de CTC variavam conforme o uso daquela área. Por exemplo, áreas abandonadas e que serviram de lixeiras apresentaram 25,3 e 12,3  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  e em áreas cultivadas o teor da CTC variou de 10,8 e 6,4  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ .

Tabela 15. Resumo da análise de variância para capacidade de troca de cátions (CTC) e capacidade de troca de cátions efetiva (CTC ef) em solo antropizado formado sobre Argissolo Amarelo, em área, na profundidade efetiva do solo e interação entre eles na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA.

| Fonte de variação                              | GL | CTC                                |        |
|--|----|------------------------------------|--------|
|  |    | CTC                                | CTC ef |
|  |    | cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> |        |
| Sistema de manejo sob solo antropizado (SMSA)  | 2  | **                                 | **     |
| Camada da profundidade efetiva do solo (Prof.) | 3  | **                                 | **     |
| Interação (SMSA x Prof.)                       | 6  | ns                                 | ns     |
| CV (%)   | -  | 11,36                              | 14,99  |
| Média geral                                    | -  | 14,84                              | 9,13   |
| DMS  | -  | 0,94                               | 0,76   |

GL: grau de liberdade; CV: coeficiente de variação; DMS: diferença mínima significativa; \*\* significativo ao nível de 5% de probabilidade e não significativo (ns) pelo teste de Tukey.

Falcão et al. (2009) pesquisaram a fertilidade dos solos de Terra Preta de Índio da Amazônia Central e obtiveram valor médio de CTC equivalente a 8,75 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>. Corroborando Monteiro et al. (2009) observaram que o uso de resíduo vegetal como material para formação de TPI em Tailândia (PA) e a deposição de resíduo de madeira, como cobertura nos solos, diferiram dos que não receberam cobertura. Assim como a capacidade de troca de cátions apresentou valores superiores a 10 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> no perfil A.

Corroborando Silva et al. (2012) os valores encontrados para CTC efetiva na camada de 0 a 3 cm foi de 9,86 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, no intervalo de 3 a 33 cm foi de 5,59 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> e de 33 a 42 de 3,51 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>. Teores aproximados foram observados por Falcão et al. (2009), quando estudaram solos de TPI no Amazonas sendo o teor médio da CTC de 8,75 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>.

Falcão e Borges (2006) observaram que em cultivos em TPI adubadas e não adubadas os valores da CTC foram respectivamente 9,31 e 8,91 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, valores superiores foram encontrados por Kämpf et al. (2009) quando estudaram dois grupos de solos antrópicos, o primeiro classificado como grupo na cor cinzento – escuro (13,65 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) e o segundo o grupo na cor preta (19,16 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>). Os mesmos autores afirmaram que os maiores teores são encontrados na amostra de solos da cor preta. Com isso, a cor da camada superficial, apesar de atraente, não é uma característica diferenciada para indicar a classificação do solo.

A Figura 26 mostra o valor da CTC e CTC ef foram superiores em TPI/ARGI FS seguido por ARGIRÇ e ARGICP.

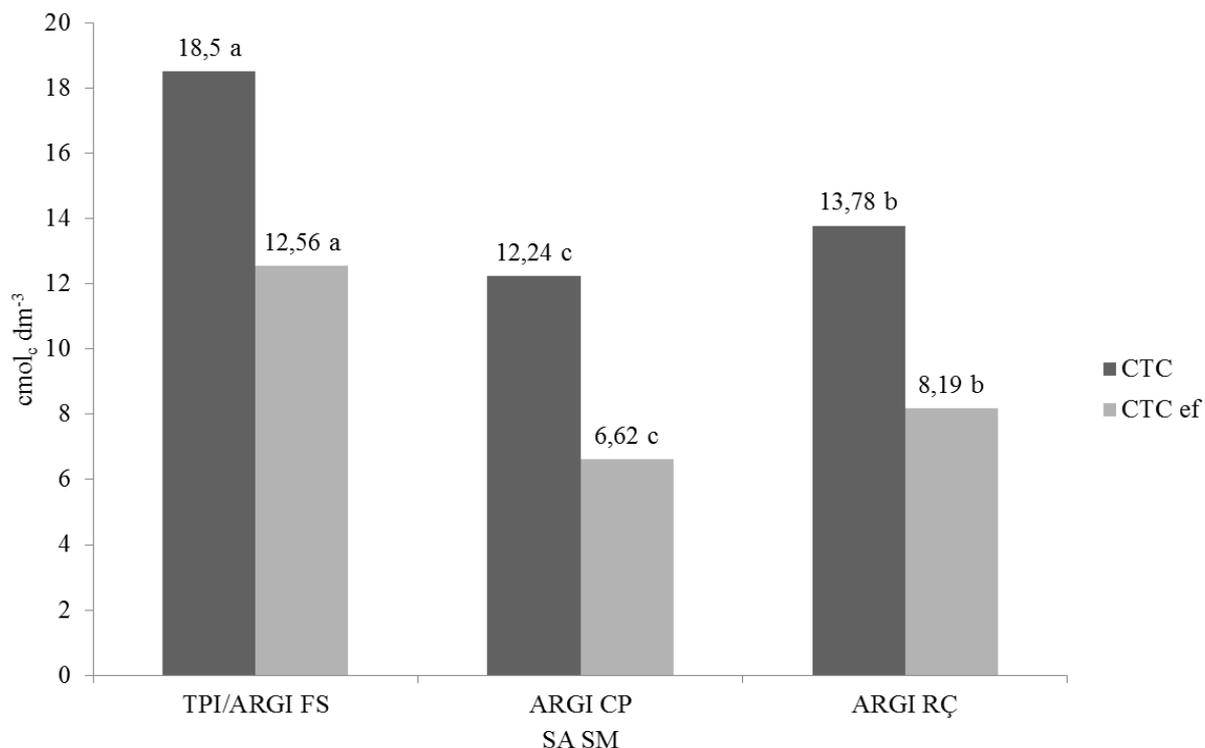


Figura 26. CTC e CTC ef em área em Terra Preta de Índio formada sobre um Argissolo Amarelo sob Floresta secundária (TPI/ARGI FS), Argissolo Amarelo sob Capoeira ( ARGICP) e Argissolo Amarelo sob roça ( ARGIRÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA.

Os valores de CTC e CTC ef na camada da profundidade efetiva do solo foram significativamente diferentes na camada de 0 a 5 cm entre os sistemas de manejo, fato semelhante foi observada na profundidade de 10 – 20 cm, possivelmente essa variação ocorreu devido à remoção da camada superficial durante o manejo do solo. Ainda ressaltamos que os maiores valores de CTC e CTC ef foram observados em solo de TPI/ARGI FS (Figura 27).

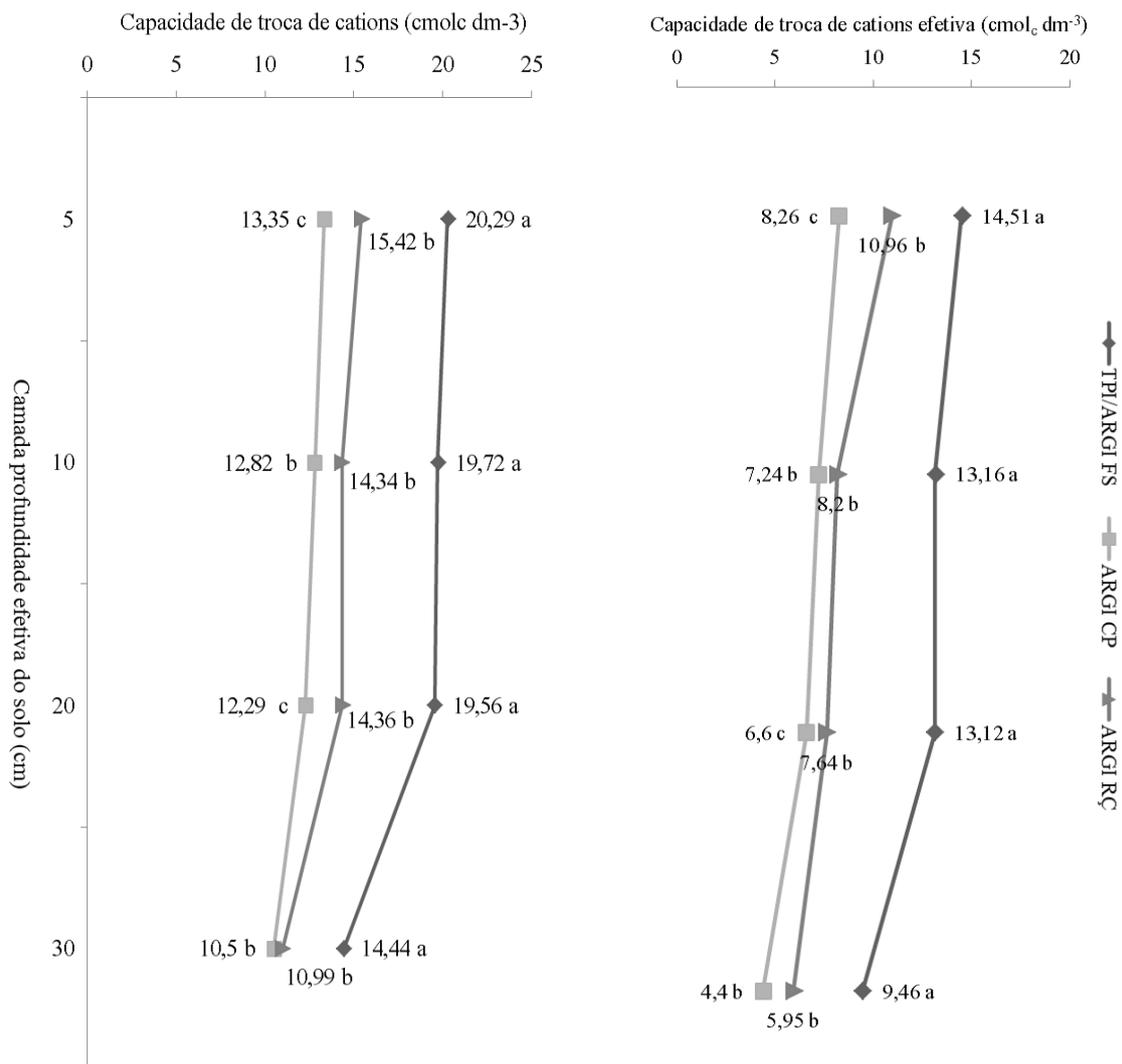


Figura 27. CTC e CTC ef na camada da profundidade efetiva do solo em Terra Preta de Índio formada sobre um Argissolo Amarelo sob Floresta secundária (TPI/ARGI FS), Argissolo Amarelo sob Capoeira (ARG I CP) e Argissolo Amarelo sob roça (ARG I RÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA.

Os resultados obtidos em TPI para a capacidade de troca de cátions foram superiores quando comparados aos teores em Latossolo e Argissolo. O aumento da capacidade de troca de cátions em TPI é devido a presença de altos teores de MO.

#### 6.4.7. Saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%)

A Tabela 16 apresenta o resumo da análise de variância para saturação de base (V%) e saturação por alumínio (m%). A média geral da SB foi de 60%, o que classifica os solos de TPI como eutrófico, ou seja, sua fertilidade pode ser considerada de boa a ótima.

Tabela 16. Resumo da análise de variância para saturação por base (V) em solo antropizado formado sobre Argissolo Amarelo, em área, na profundidade efetiva do solo e interação entre eles na Floresta Nacional de Caxiuanã, PA.

| Fonte de variação                              | GL | V<br>% | m   |
|--|----|--------|-----|
| Sistema de manejo sob solo antropizado (SMSA)  | 2  | **     | **  |
| Camada da profundidade efetiva do solo (Prof.) | 3  | **     | ns  |
| Interação (SMSA x Prof.)                       | 6  | ns     | ns  |
| CV (%)   | -  | 13     | 76  |
| Média geral                                    | -  | 60     | 1   |
| DMS  | -  | 4      | 0,6 |

GL: grau de liberdade; CV: coeficiente de variação; DMS: diferença mínima significativa; NMS: número mínimo significativo; \*\* significativo ao nível de 5% de probabilidade e não significativo (ns) pelo teste de Tukey.

O resultado de V(%) foi superior e a m(%) foi inferior em TPI/ARG FS (Figura 29). O maior percentual por saturação por alumínio foi observado em ARG I RÇ seguido de ARG I CP. Os resultados obtidos neste trabalho para a saturação por base esta estreitamente relacionada ao pH, os quais servem de indicativo da acidez do solo.

Com esses resultados pode-se afirmar que a saturação de alumínio em Terra Preta sob área TPI/ARG I FS encontra-se em equilíbrio com o pH e saturação por base, ou seja, quanto maior a predominância de bases, mais elevado é o pH e menor saturação por alumínio. No sistema ARG I RÇ, pode-se inferir que a reação do solo aos percentuais de saturação por base e saturação por alumínio tende a ser estável devido o manejo do solo, considerando-se que os sistemas de cultivo agrícola favorecem o aumento da acidez através da erosão, extração de cátions básicos pelas culturas e lixiviação.

Diferente do observado no sistema de ARG I CP, a saturação por alumínio foi superior aos percentuais encontrados nos sistemas TPI/ARG I FSTPI/ARG I TPI/ARG I FS e ARG I RÇ desta forma interferindo na saturação por base. É válido ressaltar que a área de capoeira estudada, encontrava-se em descanso (Figura 28).

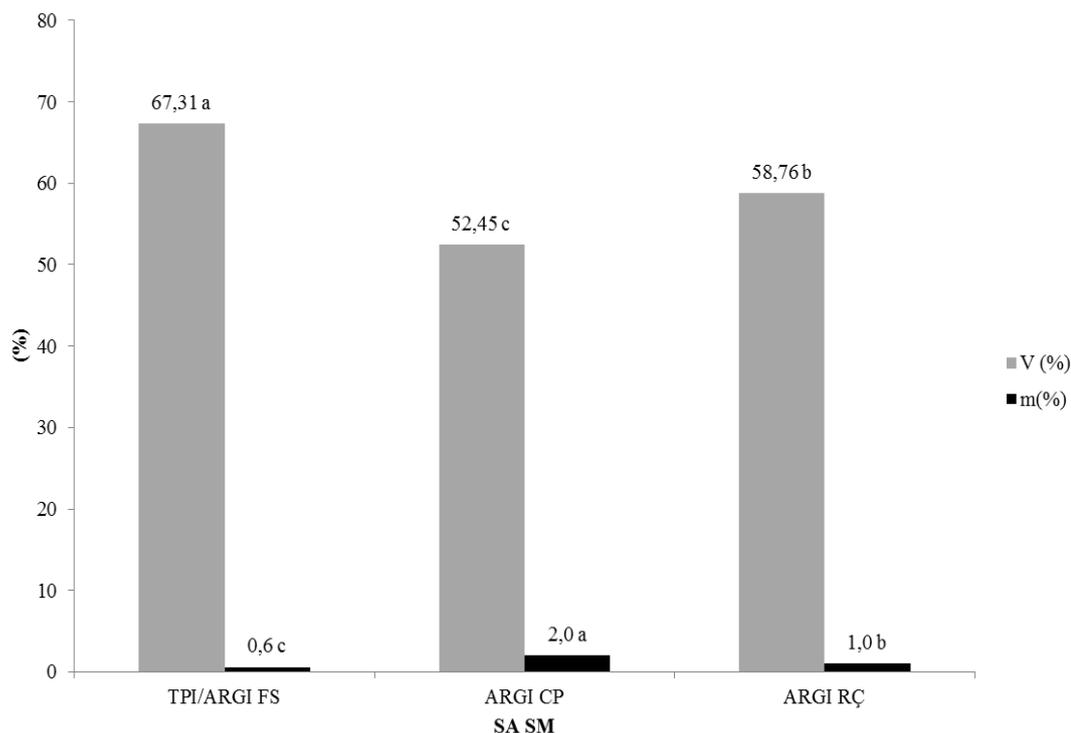


Figura 28. Saturação por base e saturação por alumínio (%) em área em Terra Preta de Índio formada sobre um Argissolo Amarelo sob Floresta secundária ( TPI/ARGI FS), Argissolo Amarelo sob Capoeira (ARGI CP) e Argissolo Amarelo sob roça (ARGI RÇ) na Floresta Nacional de Caxiuanã,PA.

Corroborando, Falcão et al. (2009) analisaram 100 amostras de TPI na camada de 0 a 20 cm e observaram que o valor máximo de V (%) variou de 100% a 48,71% podendo ser classificado como mesodistrófico, mesoeutrófico e hipereutrófico. Os percentuais de saturação por base encontrados por Silva et al. (2012) na camada de 0 a 3, 3 a 33 e 33 a 42 cm foram respectivamente 84, 76 e 81 %.

Falcão et al. (2006) acompanhando experimento em TPI adubada e não adubada cultivadas com mamão e na camada de 20 cm, obteve respectivamente 60,04% e 60,43% de saturação de base. Corroborando Moreira (2007) observou percentuais semelhantes quando estudou TPI com diferentes sistemas de uso na camada de 0 a 10 cm, foram encontrados percentuais que variaram de 65,7 a 72,6 %.

Kämpf et al. (2009) classificaram TPI em diferentes grupos de solo, sendo que o primeiro apresentou amostras de solo na cor cinza e o segundo na cor preta e os teores de saturação de base foram respectivamente 34 e 59%. Com isso, observou-se que o primeiro grupo pode ser chamado de Terra Mulata, a qual fica no intervalo entre a TPI e o solo adjacente. Falcão et al. (2009) analisaram os atributos químicos na camada de

20 cm em dez áreas de TPI localizadas no Estado do Amazonas, obtiveram percentuais de saturação de base que variaram 51,29 a 100%.

Podemos afirmar que a relação entre saturação por base e saturação por alumínio é inversamente proporcional, ou seja, à medida que diminui o percentual de saturação por alumínio o percentual de saturação por base aumenta. Indistintamente os percentuais de saturação por alumínio em TPI são baixos. O que favorece a redução da acidez no solo.

## 7.CONCLUSÃO

Os elevados teores de argila obtidos em TPI não interferem na fertilidade “natural” dos solos antropizados de ocorrência em Caxiuanã.

Os maiores valores de  $\delta^{15}\text{N}$  evidenciaram as maiores concentrações de N observadas em TPI/ARGI em FS.

As atividades antrópicas não interferiram na origem da MOS conforme verificado pelo  $\delta^{13}\text{C}$ .

Não há diferença na razão C/N entre as áreas estudadas na profundidade efetiva do solo.

Os maiores teores de MOS e fósforo foram obtidos em solos TPI/ARGI em FS.

Os teores elevados de sódio e magnésio em ARG/RC é resultado da atividade antrópica.

Os teores dos micronutrientes boro, cobre, ferro manganês e zinco foram superiores em TPI/ARG em FS.

O uso e manejo do solo seguido de pousio em áreas agriculturáveis para a subsistência interferem nos atributos físicos e químicos, porém sem causar degradação do solo.

## 8. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

1. ABREU, M. F. de et al. Determinação de boro em água quente, usando aquecimento com micro-onda. In: RAIJ, B. van (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285 p.
2. ABREU, M. F. et al. Determinação de cobre, ferro, manganês, zinco, cadmo, cromo, níquel e chumbo em solos usando a solução de DTPA em pH 7,3. In: RAIJ, B. van (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285 p.
3. ALMEIDA, S. S de; THALES, M.C. **Tipos de vegetação da ECFPn, Caxiuanã, município de Melgaço, Pará: uma primeira aproximação**. Museu Paraense Emilio Goeldi. Estação Científica Ferreira Penna. Belém, 2003. Disponível em [http://www.museu-goeldi.br/semicax/CBO\\_003.pdf](http://www.museu-goeldi.br/semicax/CBO_003.pdf). Acesso em: 17 nov. 2012.
4. ALVES, J. R. A. et al. **Emprego de isótopos estáveis para o estudo do carbono e do nitrogênio no sistema solo - planta**. In: AQUINO, A. M. et al. (Ed.). **Processos**

- biológicos no sistema solo-planta:** ferramentas para uma agricultura sustentável. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 368 p.
5. ARAUJO, E.A. de, et al. **Impact of forest-pasture conversion on stocks and dynamics of soil carbono and humic substances in the Amazon.** *Acta Amazônica*, Manaus, AM, v. 41, n.1, p. 62 -78, 2011.
  6. ARAÚJO, W. F. et al. **Métodos analíticos utilizados no laboratório de solos da Embrapa Amazônia Oriental:** manual de laboratório. Belém: EMBRAPA, 2005.
  7. ARRUDA, M.R. de.; TEIXEIRA, W.G. 2009. **Utilização de resíduos de carvão vegetal associado a fontes orgânicas de nutrientes no manejo sustentável do solo e do guaranazeiro (*Paullinia cupanavar.sorbilis* (Mart.) Ducke) na Amazônia central.** pp. 306 – 313. In: W. Teixeira, D.C. Kern, B.C. Madari, H.N. Lima & W.I. Woods (eds.) **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas.** Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, Amazonas. 416 pp. CD-Book. ISBN: 978-85-89111-06-5
  8. BARROS, K. R. M., LIMA, H. V., CANELLAS, L. P. .; KERN, D. C., **Fracionamento químico da matéria orgânica e caracterização física de terra preta de índio.** Belém, v.55, n.1 p. 44 – 51, jan./mar.2012
  9. BODDEY, M.R.; et al. Estoques de carbono nos solos do Brasil – quantidade e mecanismos de acúmulo e preservação. In: LIMA, M.A. et al., (editores técnicos). **Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira.** Brasília, DF : Embrapa Meio Ambiente, 2012.347 p.:il.color.; 16 cm x 22 cm.
  10. BOSERUP, E. **The conditions of agricultural growth: the economics of agrarian change under population pressure.** London:G: Allen and Unwin, 1965.
  11. BRASIL, E.C., CRAVO, M.daS. , **Interpretação dos resultados de análise de solo.** In:CRAVO, M. S. et al. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado do Pará.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2010. 262 p.
  12. BRASIL. Decreto federal n. 4340, de 22 de agosto de 2002. Regulamenta artigos da Lei nº 9985, de 18 de julho de 2000, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC, e dá outras providências.
  13. BRASIL. Lei federal nº. 9985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o artigo 225, §1º, incisos I,II,III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de

- Unidades de Conservação da Natureza e da outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, v.138, p. 01 – 06, 19 jul. 2000. Seção 1.
14. CARMO, M.S., **Transferência química na cadeia solo-mandioca-cabelo humano na região de Caxiuanã (Estado do Pará) e sua importância ambiental.** 2008. 238f.:il. Tese (Doutorado em Geoquímica e Petrologia)-Universidade Federal do Pará, Belém, 2008.
  15. CERRI, C. C.; VOLKOFF, B.; EDUARDO, B. P. **Efeito do desmatamento sobre a biomassa microbiana em latossolo amarelo da Amazônia.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 9, p. 1-4, 1985.
  16. CERRI, E.P., FEIGL, B.J., CERRI, C.C. 2008 **Dinâmica da matéria orgânica do solo na Amazônia.** pp.325 – 358. In: SANTOS, G. de A., SILVA, L.S.da., CANELLAS, L.P., CAMARGO, F.A.O., (eds.) *Fundamentos da matéria orgânica do solo – ecossistemas tropicais & subtropicais.* 2ed.rev.atual. Metropole. Porto Alegre. 654p.:il.
  17. CHARLES, C.R.; et al. 2009. **Diversidade vegetal em solos antrópicos da Amazônia.** pp. 146 – 161. In: W. Teixeira, D.C. Kern, B.C. Madari, H.N. Lima & W.I. Woods (eds.) *As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas.* Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, Amazonas. 416 pp. CD-Book. ISBN: 978-85-89111-06-5
  18. CONKLIN, H. C., **The study of shifting cultivation.** *Current anthropology*, v. 2, n.1, p. 27 – 61, 1961.
  19. COSTA JUNIOR, C. et al. **Nitrogênio e abundância natural de <sup>15</sup>N em agregados do solo no bioma Cerrado.** *Ensaio e Ciência – ciências biológicas, agrárias e da saúde*, São Paulo, v. 15, n. 2, 47-66 2011.
  20. COSTA JUNIOR, C. et al. **Carbono total e  $\delta^{13}\text{C}$  em agregados do solo sob vegetação nativa e pastagem no bioma Cerrado.** *Revista brasileira da ciência do solo*, Lavras, v.35, n. , 1241 – 1252, 2011.
  21. COSTA, A. C. L. et al. Experimento esecaflor: LBA em Caxiuanã. In: LISBOA, P. L. B. (Org.). **Caxiuanã: desafios para conservação de uma Floresta Nacional da Amazônia.** Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2009. 672 p.
  22. COSTA, A. R. **Formas de fósforo do solo em sítios de terra preta arqueológica na Amazônia Oriental.** 2011. 116 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2011.

23. COSTA, J.A. et al. 2009. **Geoquímica das terras pretas Amazônicas**.pp. 162 – 171. In: W. Teixeira, D.C. Kern, B.C. Madari, H.N. Lima & W.I. Woods (eds.) As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, Amazonas. 416 pp. CD-Book. ISBN: 978-85-89111-06-5
24. COSTA, M. L. et al. Geologia. In: LISBOA, P. L. B. (Org). **Caxiuanã: populações tradicionais, meio físico e diversidade biológica**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2002. p.179-205.
25. COSTA, M.L. da. Et al. 2009. **A mineralogia e composição química de fragmentos de cerâmicas arqueológicas em sítios de terra preta de índio**. pp. 225 – 241. In: W. Teixeira, D.C. Kern, B.C. Madari, H.N. Lima & W.I. Woods (eds.). As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, Amazonas. 416 pp. CD-Book. ISBN: 978-85-89111-06-5
26. COSTA. F.S., et al. **Estoque de carbono de solos da formação Solimões, Acre, Sudoeste da Amazônia**. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE CLASSIFICAÇÃO E CORREÇÃO DE SOLOS, 9., Acre. Solos sedimentares em sistemas amazônicos: anais...Acre: SBCS; 2010.
27. CRAVO, M. S. et al. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2010. 262 p.
28. CUNHA, T.J.F. **Ácidos húmicos de solos escuros da Amazônia (Terra preta de índio)** . 2005. 138 f. Tese (Doutorado Agronomia/ Ciência do solo) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2005.
29. CURI, N. et al. **Vocabulário da ciência do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 90 p.
30. DENEVAN, W. A. 2009. **As origens agrícolas da terra mulata na Amazônia**. pp. 82 – 86. In: W. Teixeira, D.C. Kern, B.C. Madari, H.N. Lima & W.I. Woods (eds.) As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, Amazonas. 416 pp. CD-Book. ISBN: 978-85-89111-06-5
31. DE-POLLI, H.; PIMENTEL. M.S., **Indicadores da qualidade do solo**. In: AQUINO, A.M .de (Ed.). **Processo biológicos no sistema solo-planta: ferramentas**

- para uma agricultura sustentável. Brasília – DF : EMBRAPA Informação tecnológica, 2005. 368 p, : il.; 22cm.
32. EDEN, M.J. ANDRADE, A. **Ecological aspects of swidden cultivation among the Andoke and Witoto Indians of the Colombian Amazon**. Human Ecology, v. 15, n. 3, p. 339 – 359, 1987.
  33. EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.
  34. FALCÃO, N.; MOREIRA, A.; COMENFORD, N.B.2009. **A fertilidade dos solos de terra preta de índio da Amazônia central**.pp. 189 – 200. In: W. Teixeira, D.C. Kern, B.C. Madari, H.N. Lima & W.I. Woods (eds.) As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, Amazonas. 416 pp. CD-Book. ISBN: 978-85-89111-06-5
  35. FALESI, I. C., **O estado atual do zoneamento agrícola da Amazônia (1ª aproximação)**. O estudo atual dos conhecimentos sobre os solos da Amazônia Brasileira. Belém: Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuárias do Norte - IPEAN, 1972. p. 17-67. (Boletim Técnico, 54).
  36. FALESI, I.C., **Ocorrência de fragmentos de carvão vegetal em solo de mata na região amazônica**. Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuárias do Norte - IPEAN, 1967. p. 2. (Boletim Informativo, 123).
  37. FALESI, I.C., **Solos de Monte Alegre. Série: solos da Amazônia**. Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuárias do Norte - IPEAN, Belém, v2, n. 1, p. 128..
  38. FERREIRA, D. F., **Sisvar: a computerstatisticalanalysis system**. Ciência e Agrotecnologia (UFLA), v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.
  39. FIDALGO, E. C.C., BENITES, V.de M., WADT, P.G.S., COELHO, M.R., MADARI, B.E., MACHADO, P.L.O de A. **Estoque de carbono com base no levantamento de solos do Brasil – uma contribuição para o inventário nacional**. In: LIMA, M.A. et al., (editores técnicos). Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira. Brasília, DF : Embrapa Meio Ambiente, 2012.347 p.:il.color.; 16 cm x 22 cm.
  40. FIGUEIRA, A.M. e S. **Mudanças no uso e cobertura do solo na Amazônia e suas implicações no ciclo de nitrogênio**. 2006. 114 f.:il. Dissertação (Mestrado em

Ecologia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ - Universidade de São Paulo.

41. FREIRE, O. **Solos das regiões tropicais**. Botucatu: FEPAF, 2006. 268 p.
42. GURJÃO, R.S.; LEMOS, V.P.; COSTA, M.L.; DANTAS FILHO, H.A.; DANTAS, K.G.F.; LIMA, W.T.S.; KERN, D.C. 2010. Comportamento do mercúrio em perfis de solos do sítio Ilha de Terra-Caxiuanã, Pará. *Química Nova*, 33: 821-826
43. IBGE. Manual técnico de uso da terra. 2.ed. Rio de Janeiro: Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 2007, 323 p. il
44. KAMPF, N. et al. **Classificação das terras pretas de índio e outros solos antrópicos antigos**. In: TEIXEIRA, W. G. et al. (Ed.). *As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas*. Manaus: EDUA: Embrapa Amazônia Ocidental, 2010. p. 88 - 103.
45. KÄMPF, N.; WOODS, W.I.; KERN, D.C.; CUNHA, T.J. 2009. **Classificação das terras pretas de índio e outros solos antrópicos antigos**. pp. 87 – 102. In: W. Teixeira, D.C. Kern, B.C. Madari, H.N. Lima & W.I. Woods (eds.) *As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas*. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, Amazonas. 416 pp. CD-Book. ISBN: 978-85-89111-06-5
46. KLEINMAN, P.J., PIMENTEL, D.; BRYANT, R.B. **The ecological sustainability of slash –and- burn agriculture**. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 52, n. 2 – 3, p. 235 – 249, 1995.
47. LIMA, H. N. et al. 2009. **Características químicas e mineralógicas e a distribuição de fontes de fósforo em terras pretas de índio da Amazônia ocidental**. pp. 212 – 224. In: W. Teixeira, D.C. Kern, B.C. Madari, H.N. Lima & W.I. Woods (eds.) *As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas*. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, Amazonas. 416 pp. CD-Book. ISBN: 978-85-89111-06-5
48. MADARI, B.E. et al. 2009. **Matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (terra preta de índio): suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo**. pp.172 – 188. In: W. Teixeira, D.C. Kern, B.C. Madari, H.N. Lima & W.I. Woods (eds.) *As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas*. Embrapa

- Amazônia Ocidental, Manaus, Amazonas. 416 pp. CD-Book. ISBN: 978-85-89111-06-5
49. MARDERGAN, S.F. **Abundancia natural de <sup>15</sup> N em solos e folas de áreas de campina e capinarana da reserva biológica da campina – INPA, região de Manaus, Amazonas.** 2007. 75 f. Dissertação (Mestrado Ciências biológicas) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2007.
  50. MARTINELLI, L. A., et al. **Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis.** São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
  51. MARTINS, G. C.; et al. **Estoque de Carbono em Terra Preta de Índio no município de Iranduba – AM,** Lages. XIX reunião brasileira de manejo e conservação do solo e da água, 2012.
  52. MCGRATH, D.G. **The role of biomass in shifting cultivation.** Human ecology, v.15, n. 2, p. 221 – 242, 1987.
  53. MONTEIRO, K. F. G., et al. 2009. **Uso de resíduos vegetais no solo: subsídios para a formação de terra preta nova em Tailândia (PA).** pp. 314 – 327. In: W. Teixeira, D.C. Kern, B.C. Madari, H.N. Lima & W.I. Woods (eds.) As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, Amazonas. 416 pp. CD-Book. ISBN: 978-85-89111-06-5
  54. MOREIRA, A.; TEIXEIRA, W.G.; MARTINS, G. C.; FALCÃO, N.P.de S. 2009. **Métodos de caracterização química de amostras de horizontes antrópicos das terras pretas de índio.** pp. 201 – 211. In: W. Teixeira, D.C. Kern, B.C. Madari, H.N. Lima & W.I. Woods (eds.) As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, Amazonas. 416 pp. CD-Book. ISBN: 978-85-89111-06-5
  55. MUNSELL COLORS COMPANY. **Munsell soil colors charts.** Baltimore, 2000.
  56. NEVES JUNIOR, A.F. **Qualidade física de solos com horizontes antrópicos (Terra Preta de Índio) na Amazônia Central.** 2008. 93 p. Tese (Doutorado em Agronomia/ Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2008.
  57. NUNES, R.H.S., et al. **Qualidade biológica do solo em Terra Preta de Índio cultivada com feijão –caupi, AM.** In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE

- LA CIENCIA DEL SUELO, 19.; CONGRESSO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 23, 2012, Mar del Plata, Argentina. **Latinoamerica unida protegendo sussuelos**: anais. Mar del Plata: SBCS, 2012.
58. OBLITAS MENDONZA, E. M., **Carbono orgânico e nutrientes em solos antrópicos e adjacentes sob floresta secundária na Amazônia Central**. 2011. 45f.:il.color. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias/ Agronomia no Trópico Úmido) – Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, 2011.
59. PEDROSO JUNIOR, N. N.; MURRIETA, R.S.S.; ADAMS, C. **A agricultura de corte e queima: um sistema em transformação**. Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi. Ciências humanas, 2008. – Belém: MPEG, 2008. v. 3 n. 2., v. il
60. PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.
61. POSEY, D. **Os Kayapó e a natureza**. Ciência hoje, v.2, n.12, p. 35 – 41, 1984. pp.43 – 48. In. CRAVO, M. da S., VIEGAS, I. de J. M., BRASIL, E.C., Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Pará. EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL. 1ª ed. Ver. Atual. – Belém – PA, 2010. 262 p.
62. RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.:il.
63. SANTOS, R. D. et al. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. rev. ampl. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100 p.
64. SCHMIDT, M.J.; HECKENBERGR, M.J. 2009. Formação de terra preta na região do alto Xingu: resultados preliminares. pp. 103 – 126. In: W. Teixeira, D.C. Kern, B.C. Madari, H.N. Lima & W.I. Woods (eds.) **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, Amazonas. 416 pp. CD-Book. ISBN: 978-85-89111-06-5
65. SILVA, A. C. S. **Avaliação da fertilidade de solos antrópicos(Terra Preta de Índio) com ênfase na biodisponibilidade do fósforo**. 2006. 116 f. Dissertação(Mestrado em Agricultura e Sustentabilidade na Amazônia)- Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2006.

66. SILVA, A.K.T. et al. **Mineralogia e geoquímica de perfis de solo com terra preta arqueológica de Bom Jesus do Tocantins, sudeste da Amazônia**. Acta Amazônica, Manaus, AM, v. 42 (1), p. 477 – 490, 2012.
67. SILVA, R. N. P. **Unidade de conservação e agricultura de subsistência: o caso da Floresta Nacional de Caxiuanã**. In: BAENINGER, R. (Org.). **População e cidades: subsídios para o planejamento e para as políticas sociais**. Campinas: Nepo/Unicamp, 2010. 304 p.
68. SILVA, F. C. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Informação Tecnológica, 2009. 627 p.
69. **SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS**. SANTOS, H. G. et al. (editores) 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.
70. TEIXEIRA, W.G. et al. 2009. **As propriedades físicas e hídricas dos horizontes antrópicos das terras pretas de índio na Amazônia central**. pp. 242 – 250. In: W. Teixeira, D.C. Kern, B.C. Madari, H.N. Lima & W.I. Woods (eds.) **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: Sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, Amazonas. 416 pp. CD-Book. ISBN: 978-85-89111-06-5
71. VALE, D. W. et al. **Introdução ao manejo da fertilidade do solo e nutrição de plantas**. In: \_\_\_\_\_. **Manejo da fertilidade do solo e nutrição de plantas**. Jaboticabal: UNESP/FCAV, 2010. 425 p.
72. VIEIRA, L.S. **Manual da Ciência do Solo**. São Paulo: Agronômica, 1975. 464 p. il.
73. VIEIRA, L.S.; VIEIRA, M.N.F. **Manual de Morfologia e Classificação de solos**. 2. Ed. São Paulo: Ceres, 1983. 313 p. il.
74. VIEIRA, M. N. F. et al. **Levantamento e conservação do solo**. 2. ed. Belém: FCAP, 2000. 320 p.