

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
TROPICAL

The seal of the Universidade Federal do Amazonas is a circular emblem. It features a central figure of a bird, possibly a toucan, with its wings spread. The bird is surrounded by a laurel wreath. Above the bird are three stars. The text "UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS" is written in a circle around the top, and "IN UNIVERSA SCIENTIA VERITAS" is written around the bottom. There are two small dots on either side of the bottom text.

CARACTERIZAÇÃO E VARIAÇÃO TEMPORAL DA SOLUÇÃO DO  
SOLO EM ARGISSOLO AMARELO COM HORIZONTE A  
MODERADO E A ANTRÓPICO (TERRA PRETA DE ÍNDIO) NO  
MUNICÍPIO DE IRANDUBA - AM

ADRIANA GIL DE SOUZA MACEDO

MANAUS  
2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
TROPICAL

ADRIANA GIL DE SOUZA MACEDO

CARACTERIZAÇÃO E VARIAÇÃO TEMPORAL DA SOLUÇÃO DO  
SOLO EM ARGISSOLO AMARELO COM HORIZONTE A  
MODERADO E A ANTRÓPICO (TERRA PRETA DE ÍNDIO) NO  
MUNICÍPIO DE IRANDUBA - AM

Dissertação apresentada ao Programa  
de Pós-Graduação em Agronomia  
Tropical da Universidade Federal do  
Amazonas, como requisito parcial  
para obtenção do título de Mestre em  
Agronomia Tropical, área de  
concentração em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Wenceslau Geraldes Teixeira

MANAUS  
2012

ADRIANA GIL DE SOUZA MACEDO

CARACTERIZAÇÃO E VARIAÇÃO TEMPORAL DA  
SOLUÇÃO DO SOLO EM ARGISSOLO AMARELO COM  
HORIZONTE A MODERADO E A ANTRÓPICO (TERRA  
PRETA DE ÍNDIO) NO MUNICÍPIO DE IRANDUBA - AM

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia Tropical, área de concentração em Produção Vegetal.

Aprovada em 24 de abril de 2012

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Wenceslau Geraldes Teixeira, Presidente  
Embrapa Solos

Prof. Dr. Hedinaldo Narciso Lima, Membro  
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Dr. Afrânio Ferreira Neves Junior, Membro  
Universidade Federal do Amazonas

*Aos meus pais Arthur e Ana, que através da simplicidade, sempre indicaram os melhores caminhos da vida;*

*Aos meus irmãos, Luciana e Arthur; a minha sobrinha Sarah;*

*Ao meu esposo Rodrigo Macedo, pelo incentivo e força sempre.*

*Dedico*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Dr. Wenceslau Teixeira pela valiosa orientação, oportunidade e confiança durante todas as etapas do trabalho

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos

Ao projeto: “Estudo dos Solos de Várzea da Amazônia Brasileira: Fortalecendo a Interação PPG-AT/UFAM E PPG-SNP/UFV” Número do processo: 620184/2008-6

Ao Programa de Pós Graduação em Agronomia Tropical

A Embrapa Amazônia Ocidental pela infra-estrutura concedida

Aos técnicos do Laboratório de Análise de Solos e Plantas da Embrapa Amazônia Ocidental, em especial aos amigos Taveira e Estevão (Brabo)

Aos colegas do Campo Experimental do Caldeirão, em especial: Fernando, Josias (Camaleãozinho) e Daniel, obrigada pelo apoio e ajuda em campo. Não poderia esquecer da Jô que nos esperava com aquele almoço especial

Aos amigos de trabalho da Embrapa: Gilvan Coimbra, Omar Cubas, Marcelo Róseo e July Anne

Aos amigos da Universidade Federal do Amazonas que tornaram o convívio mais agradável e deram aquela forcinha na hora de entregar a frequência mensal: Adriana Uchôa, Catielle Borges, Deiziane Almeida, Gilson Sanches, Raianny Mendonça e Wanderléia Ribeiro

A Liliane Oliveira e Tatiana Senra pelo convívio durante nossa permanência em Viçosa

A todos que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho

*Muito Obrigada!*

*“... pois a **chuva** voltando pra **terra** traz*

***coisas do ar...” (Raul Seixas / Paulo Coelho)***

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Média histórica (1998-2010), da precipitação pluviométrica da região de Manaus, com exceção do ano de 2009 (Fonte: CPRM)..... 28
- Figura 2.** Delineamento experimental. Argissolo Amarelo A antrópico (TPI); Argissolo Amarelo A moderado (Solo adjacente). Estação Experimental do Caldeirão (Embrapa/CPAA), Iranduba – AM.....29
- Figura 3.** A) P01 Argissolo Amarelo A antrópico; B) Argissolo Amarelo A moderado. Estação Experimental do Caldeirão (Embrapa/CPAA), Iranduba – AM..... 30
- Figura 4.** Procedimento de amostragem da solução do solo. A) Coleta da solução; B) Amostra sendo fracionada; C) Adição de HNO<sub>3</sub> para preservação da amostra. Estação Experimental do Caldeirão (Embrapa/CPAA), Iranduba – AM..... 31
- Figura 5.** Valores médios de retenção de água em diferentes tensões nos horizontes de perfil Argissolo Amarelo com A antrópico e Argissolo Amarelo com A moderado na Estação Experimental do Caldeirão (Embrapa/CPAA), Iranduba – AM..... 39
- Figura 6.** Difrátogramas da fração argila de Argissolo Amarelo com A antrópico: A) 0-20 cm (Au<sub>1</sub>) e B) 80-100 cm (Au<sub>3</sub>/Au<sub>4</sub>); C) Argissolo Amarelo com A moderado: 0-20 cm (A/AB) e D) 80-100 cm (Bt<sub>1</sub>) da Estação Experimental do Caldeirão (Embrapa/CPAA), Iranduba – AM..... 48
- Figura 7.** Valores médios de pH e CE de áreas com Argissolo Amarelo com A antrópico e Argissolo Amarelo com A moderado da Estação Experimental do Caldeirão (Embrapa/CPAA), Iranduba – AM.....52
- Figura 8.** Valores médios de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> no Argissolo Amarelo A antrópico e Argissolo Amarelo A moderado na Estação Experimental do Caldeirão (Embrapa/CPAA), Iranduba – AM.....60
- Figura 9.** Valores médios de K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup> no Argissolo Amarelo A antrópico e Argissolo Amarelo A moderado na Estação Experimental do Caldeirão (Embrapa/CPAA), Iranduba – AM.....64
- Figura 10.** Valores médios de Fe<sup>2+</sup> e Zn<sup>2+</sup> no Argissolo Amarelo A antrópico e Argissolo Amarelo A moderado na Estação Experimental do Caldeirão (Embrapa/CPAA), Iranduba – AM..... 67
- Figura 11.** Valores médios de Cu<sup>2+</sup> e Mn<sup>2+</sup> no Argissolo Amarelo A antrópico e Argissolo Amarelo A moderado na Estação Experimental do Caldeirão (Embrapa/CPAA), Iranduba – AM.....69
- Figura 12.** Valores médios de Al<sup>3+</sup> no Argissolo Amarelo A antrópico e Argissolo Amarelo A moderado na Estação Experimental do Caldeirão (Embrapa/CPAA), Iranduba – AM.....70

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Precipitação pluviométrica da área de estudo durante os meses de Fevereiro a Junho de 2011. Estação Experimental do Caldeirão (Embrapa/CPAA), Iranduba – AM.....27
- Tabela 2.** Espessura, cor e características físicas do Argissolo Amarelo A antrópico e Argissolo Amarelo A moderado na Estação Experimental do Caldeirão (Embrapa/CPAA), Iranduba – AM.....37
- Tabela 3.** Composição granulométrica do Argissolo Amarelo com A antrópico e Argissolo Amarelo com A moderado na Estação Experimental do Caldeirão (Embrapa/CPAA), Iranduba – AM.....38
- Tabela 4.** Características químicas de áreas com Argissolo Amarelo com A antrópico e Argissolo Amarelo com A moderado da Estação Experimental do Caldeirão (Embrapa/CPAA), Iranduba – AM.....45
- Tabela 5.** Micronutrientes do solo da área com Argissolo Amarelo com A antrópico e Argissolo Amarelo com A moderado da Estação Experimental do Caldeirão (Embrapa/CPAA), Iranduba – AM.....46
- Tabela 6.** Teor médio, desvio padrão, mínimo e máximo de macro e micronutrientes em amostras de solução do solo em área de Argissolo Amarelo com horizonte A antrópico e Argissolo Amarelo com horizonte A moderado na Estação Experimental do Caldeirão (Embrapa/CPAA), Iranduba – AM.....58

## RESUMO

A ocorrência de áreas com solos de horizonte superficial de cor escura e apresentando elevada fertilidade e altos teores de fósforo caracterizam os horizontes A antrópicos da Amazônia, conhecidos regionalmente como Terra Preta de Índio. Estudos da dinâmica de nutrientes nos horizontes antrópicos em relação aos solos pouco férteis assumem importância por contribuir para compreensão dos mecanismos de retenção e lixiviação de íons nestes horizontes. O presente estudo teve por objetivo avaliar a dinâmica dos nutrientes da solução do solo em Argissolo Amarelo com horizonte A moderado e Argissolo Amarelo A antrópico (Terra Preta de Índio) no município de Iranduba – AM. O estudo foi realizado em triplicata em cada uma das áreas estudadas, nas quais foram instaladas cápsulas extratoras de solução do solo nas profundidades de 20, 50 e 100. Foram realizadas tradagens a cada 20 cm até a profundidade de 100 cm em todas as parcelas para coleta de amostras para análise granulométrica, química e mineralógica. Amostras indeformadas para determinação da densidade do solo e volume total de poros foram coletadas nos horizontes identificados em perfis abertos nas áreas. Análise mineralógica da fração argila foi realizada nas profundidades de 0-20 e 80-100 cm. A solução do solo foi coletada em dez ocasiões, sendo fracionada onde uma era acidificada para determinação de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  e  $\text{Zn}^{2+}$  e outra sem acidificação para as medições de pH e condutividade elétrica. Os horizontes A antrópicos apresentaram maior densidade e retenção de água do que o horizonte A moderado na capacidade de campo; no entanto, o volume total de poros foi maior nesse último. A retenção de água apresentou relação inversa com os teores de matéria orgânica e relação direta com os teores de argila. Os horizontes antrópicos apresentaram maiores valores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  e  $\text{Cu}^{2+}$ , enquanto o solo natural apresentou maiores teores de  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  e C orgânico. A atividade humana pretérita reduziu a densidade dos horizontes AB e BA do solo adjacente quando comparados aos horizontes antrópicos. A assembléia mineralógica da fração argila é caracterizada pela dominância de caulinita e traços de mica e anatásio em ambas as áreas, o que evidencia que essas áreas são originadas da mesma matriz mineral, sendo que há adição do processo antrópico na formação da TPI. Os maiores teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Cu}^{2+}$  no dia 22/03 e de  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  e  $\text{Mn}^{2+}$  no dia 31/05 na TPI, especialmente na profundidade de 50 cm, assinalam para dois momentos de *input* de elementos na

solução do solo via pluviolixiviados e/ou dessorção dos sítios de troca da matéria orgânica e de argilas. Apesar de inseridos dentro de períodos com precipitação e intervalo de ocorrência semelhante, os dois maiores momentos de perdas de elementos da solução do solo por lixiviação (22 a 29/03 e 10 a 17/05) promoveram taxas de perdas distintas, sendo mais severo naquele primeiro, provavelmente em decorrência de diferença na intensidade da chuva.

**Palavras-chave:** cápsula porosa, concentração iônica, condutividade elétrica

## ABSTRACT

Amazonian Dark Earth are known by its typical high fertility and phosphorus contents besides a dark surface horizon designated as “Anthropic Horizon”. Studies on the nutrients dynamics in the Anthropic Horizons in comparison to neighboring low fertility soils are essential for the comprehension of exchangeable ions capacity and leaching mechanisms in the Dark Earth soils. This study aimed to assess and compare the nutrient dynamics in the soil solution of a Xanthic Kandiuult and Anthropic Xantic Kandiuult. Extracting capsules were installed at the depth of 20 cm, 50 cm and 100 cm (three replicates by each area) for soil solution collecting. Soil samplings from 0 cm to 100 cm depth (20 cm of interval) were obtained by augering for granulometric, chemical and mineralogical soil analyses. Soil bulk densities and pore volume determination were assessed through non deformed samples collected in a soil profile. Clay mineralogy analyses were carried out only in 0-20 and 80-100 cm depths. Soil solution was sampled ten times during the study period for  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  e  $\text{Zn}^{2+}$  determinations (acidified samples) and pH and electrical conductivity measurements (non acidified samples). Anthropic Xantic Kandiuult showed higher soil bulk densities and soil water retention values in the field capacity than the Xanthic Kandiuult. Nevertheless the pore volume values were higher in the Xanthic Kandiuult. Anthropic horizons also have higher  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  e  $\text{Cu}^{2+}$  contents. Supposing that before antropic activities both soils were physically and chemically similar, it is supposed that human activities reduced the soil bulk density in AB and BA horizons of Xanthic Kandiuult. The mineralogical assemblage of clay fraction is dominated by kaolinite and traces of a mica group mineral and anatase in both soils, demonstrating the same geological material. The Anthropic Xantic Kandiuult shows higher cations contents in CEC and less leaching from solution. An input of nutrients was verified in march 22<sup>nd</sup> ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  and  $\text{Cu}^{2+}$ ) and may 31<sup>st</sup> ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  and  $\text{Mn}^{2+}$ ) in the anthropic horizons, what indicates an increasing in the elemental concentration in soil solution via rain and/or desorption from clay and organic matter sites. Organic carbon contents were higher in Xanthic Kandiuult than in Anthropic Xantic Kandiuult.  $\text{Ca}^{2+}$  represents the major element in both soils analyzed.  $\text{Na}^+$  values were the second most frequent in Xanthic Kandiuult solution and in the 50-cm layer of Anthropic layer.  $\text{Mg}^{2+}$  values were distinguished only in the 0-20 cm layer

of Anthropic Xantic Kandiudult, where reached the second highest value in soil solution. Distinguished values of  $Mn^{2+}$  and  $Zn^{2+}$  were found in Anthropic Xantic Kandiudult, demonstrating equilibrium with CEC of solid phase.  $Fe^{2+}$  values of Anthropic Xantic Kandiudult were significantly lower than Xanthic Kandiudult, what corroborates to previous results.  $Al^{3+}$  concentration in soil solution was null in all evaluated situations in the Anthropic Xantic Kandiudult enhancing the idea of great fertility of these soils.

**Keywords:** extracting capsules, ionic concentration, electric conductivity

## SUMÁRIO

<b>Lista de Figuras.....</b>	07
<b>Lista de Tabelas.....</b>	08
<b>Resumo.....</b>	09
<b>Abstract.....</b>	11
<b>1. Introdução.....</b>	14
<b>2. Revisão de Literatura.....</b>	16
2.1 Terra Preta de Índio.....	16
2.1.1 Caracterização.....	16
2.1.2 Ocorrência e distribuição.....	17
2.1.3 Classificação.....	18
2.2 Solução do solo.....	18
2.2.1 Extratores de solução do solo.....	20
2.3 Dinâmica dos elementos minerais no solo.....	21
<b>3. Objetivo Geral.....</b>	25
<b>3.1 Objetivos específicos.....</b>	25
<b>4. Material e Métodos.....</b>	25
<b>4.1 Localização.....</b>	25
<b>4.2 Meio físico.....</b>	25
4.2.1 Clima.....	25
4.2.2 Geologia e Litologia.....	26
4.2.3 Geomorfologia.....	28
4.2.4 Vegetação.....	28
4.3 Delineamento experimental.....	28
<b>4.4. Procedimento Amostral.....</b>	29
4.4.1 Amostragem do solo.....	29
4.4.2 Amostragem da solução do solo.....	30
<b>4.5 Procedimentos Analíticos.....</b>	32
4.5.1 Granulometria, argila dispersa em água (ADA) e grau de floculação (GF).....	32
4.5.2 Densidade do solo (ps), volume total de poros (VTP), umidade volumétrica.....	32
4.5.3 Análises químicas.....	33
4.5.4 Análise mineralógica.....	34
4.5.5 Solução do solo.....	35
<b>4.6 Análises estatísticas.....</b>	35
<b>5. Resultados e Discussão.....</b>	35
<b>5.1 Características morfológicas.....</b>	35
<b>5.2 Parâmetros físicos.....</b>	37
5.2.1 Composição granulométrica.....	37
5.2.2 Argila dispersa em água (ADA) e grau de floculação (GF).....	38
5.2.3 Umidade volumétrica.....	38
5.2.4 Densidade do solo (ps).....	40
5.2.5 Volume total de poros (VTP).....	41
<b>5.3 Parâmetros químicos.....</b>	41
<b>5.4 Mineralogia.....</b>	46
<b>5.5 Solução do solo.....</b>	49
5.5.1 pH.....	49
5.5.2 Condutividade elétrica.....	50
5.5.3 Cátions na solução do solo.....	53
<b>6. Conclusões.....</b>	71
<b>7. Referências.....</b>	73

## 1. INTRODUÇÃO

O solo é um meio poroso, com parte dos espaços vazios normalmente ocupados pela solução do solo. Essa parte líquida é constituída de minerais dissolvidos e materiais orgânicos solúveis, denominada de solução do solo, contendo ainda elementos orgânicos e minerais em suspensão, no qual condiciona o desenvolvimento das plantas (MIRANDA et. al., 2006). Esta por sua vez, pode ser absorvida pelas raízes das plantas, evaporada ou drenada para as camadas mais profundas do solo, dependendo da umidade e das características de permeabilidade do solo (REICHARDT, 1990).

Na solução do solo estima-se a disponibilidade de nutrientes para as plantas e a presença de elementos tóxicos. Ainda, a análise da solução do solo, realizada em diferentes épocas, permite estudar a dinâmica de íons (MORAES & DYNIA, 1990). Por estes motivos, muitas vezes, a análise da composição da solução do solo é mais enriquecedora em informações do que a análise total ou a feita por extratores de amostras de solo (WOLT, 1994).

A obtenção da solução do solo pode ser realizada por vários métodos. Wolt (1994) cita: i) deslocamento da solução em coluna pela adição ou retirada de gases ou adição de líquidos (PARKER, 1921; WOLT et al., 1989; ROSS & BARTLETT, 1990), ii) centrifugação a baixa (GILLMAN, 1976) e alta pressão (ELKHATIB et al., 1987), iii) câmara de pressão (RICHARDS, 1941), iv) por vácuo no extrato saturado e soluções aquosas (RICHARDS, 1954), v) métodos de adsorção molecular (BAKER, 1973; NORVELL & LIDSAY, 1982), vi) extratores providos de cápsulas porosas (REEVE & DORERING, 1965). Dentre as técnicas de obtenção da solução do solo em campo, a cápsula porosa de porcelana sob tensão é a mais comum e difundida (WOLT, 1994).

A cápsula porosa funciona como uma “raiz artificial”, possibilitando estudar a composição, concentração e mudanças que ocorrem na solução do solo, meio pelo qual as plantas absorvem os minerais. Possui algumas vantagens como: (i) fácil instalação; (ii) causa mínima desestruturação do solo; (iii) grande aceitação; (iv) pode ser utilizada na maioria dos tipos de solo (LORD & SHEPHERD, 1993). A última vantagem possibilita que tal método seja utilizado nos Latossolos e Argissolos dominantes nas áreas de terra firme da Amazônia Central, no qual apresentam baixa fertilidade natural devido à sua avançada idade geológica (MEIRELLES, 2004; TEIXEIRA et al., 2010a), e conseqüente baixa capacidade de troca catiônica (CTC), alto teor de argila (> 60%),

pH muito ácido e baixos teores de carbono orgânico no solo (TEIXEIRA & BASTOS, 1989).

Em meio à vasta extensão de terras na Amazônia, onde predominam solos de terra firme com baixas reservas de nutrientes, há ocorrência de solos com horizonte superficial de cor escura e com elevada fertilidade (A antrópico - epieutróficos), recobrando principalmente horizontes cauliniticos e intemperizados, no qual constitui uma das feições mais interessantes da paisagem amazônica (LIMA, 2001), e representa um importante registro da ocupação humana e do uso do solo na Amazônia por populações pré-colombianas. Esses solos são conhecidos regionalmente como Terras Pretas de Índio (TPI) (KÄMPF & KERN, 2005; TEIXEIRA et al., 2010).

Os horizontes antrópicos são usualmente bem drenados, profundos, com textura variando de arenosa a muito argilosa (TEIXEIRA & MARTINS, 2003), apresentando um horizonte A mais escuro e mais espesso do que nos solos circunvizinhos. Ainda, apresentam valores mais elevados de pH, carbono orgânico (C orgânico), fósforo disponível (P), cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) + magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) trocáveis, CTC e saturação por bases (V) em relação aos Latossolos e Argissolos amazônicos (KÄMPF & KERN, 2005), bem como teores de zinco ( $\text{Zn}^{2+}$ ) e manganês ( $\text{Mn}^{2+}$ ) mais elevados em relação aos solos adjacentes (KERN & KÄMPF, 1989).

Esses solos altamente férteis formados no passado parecem manter sua fertilidade mesmo em condições de clima tropical, o que contrasta com a maioria dos solos encontrados na região. Essa característica peculiar é atribuída ao elevado nível e as características físico-químicas da matéria orgânica, principalmente pela contribuição significativa do carbono pirogênico, formado pela oxidação incompleta de materiais orgânicos, o qual desempenha papel significativo na formação das propriedades físicas (estruturação, retenção de água, etc.) destes solos, influenciando positivamente sua fertilidade (CUNHA et al., 2007). Entretanto, pouco se conhece a respeito da dinâmica de nutrientes na solução de solos antrópicos na Amazônia Central, no qual destaca-se o estudo de Mendoza (2011). Entre outros estudos de dinâmica de nutrientes na solução em solos da Amazônia destacam-se os realizados em sistemas florestais, em áreas de antigas pastagens e florestas primárias adjacentes (SCHROTH et al., 2001; NEU, 2005; FERREIRA, 2006; MARQUES, 2009).

Embora a identificação de áreas de ocorrência de TPI seja simplificada por alguns aspectos de sua morfologia, como cor e presença de fragmentos cerâmicos e/ou

artefatos líticos, fatores não aparentes, como as relações geoquímicas dos elementos como  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ , P,  $Zn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$  e C orgânico em relação aos solos adjacentes são fundamentais na elucidação de sua fertilidade (COSTA et al., 2010 ). Apesar da importância desses estudos nessas áreas, pouco se sabe a respeito da dinâmica dos elementos na solução desses solos. Logo, a elucidação de tal comportamento certamente contribuirá para o entendimento dos mecanismos de retenção e lixiviação que contribuem para a manutenção dos elevados teores de alguns elementos mesmo após cessado o input dos mesmos pelos seus criadores (índios pré-colombianos).

Partindo dessa premissa, o presente estudo testou a hipótese de que há maiores concentrações de elementos nos solos antrópicos em relação ao solo natural adjacente, e que a saída de nutrientes da solução do solo por lixiviação e/ou adsorção aos sítios de troca são menores naquele primeiro. Nesse contexto, o presente estudo teve por objetivo avaliar a dinâmica dos nutrientes da solução do solo em Argissolo Amarelo com A moderado e Argissolo Amarelo com A antrópico (Terra Preta de Índio) sob vegetação secundária no município de Iranduba – AM.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Terra Preta de Índio**

#### **2.1.1 Caracterização**

As características químicas e mineralógicas dos solos da Amazônia são, em grande parte, ditadas pela natureza do material de origem. Áreas extensas de solos eutróficos só existem onde há influência atual (planície aluvial) ou pretérita (terraços e baixos planaltos das bacias do Acre e do Alto Amazonas) de sedimentos andinos; onde afloram rochas de riqueza química maior (calcários e margas em Monte Alegre-Ererê; basaltos e diabásios em Roraima, Pará e Amapá) (LIMA, 2001); ou, ainda, em Terras Roxas Latossólicas/Estruturadas eutróficas (atualmente Nitossolos Vermelhos Eutróficos) provenientes de afloramentos de folhelhos ardiosianos e alteração de diabásio na Rodovia Transamazônica no trecho Marabá-Altamira-Itaituba (FALESI, 1972a).

Na Amazônia é possível encontrar áreas de solo com horizonte superficial espesso e de coloração preta ou marrom que recobrem principalmente solos cauliníticos intemperizados. Esses solos são reconhecidos regionalmente por sua alta fertilidade e são denominados regionalmente como Terra Preta de Índio (TPI) (TEIXEIRA, 2010b;

LIMA, 2001). Ainda, esses solos apresentam restos de material arqueológico e altos teores de nutrientes, contrastando com os solos naturais e proporcionando grande potencial de produção (LEHMANN et al., 2003; WOODS, 2009).

As TPI's apresentam altos teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , P e alguns micronutrientes, como o  $\text{Mn}^{2+}$  e o  $\text{Zn}^{2+}$  (SOMBROEK, 1966; KÄMPF & KERN, 2005; LEHMANN et al., 2003; WOODS et al., 2009; TEIXEIRA et al. 2010b). Esses solos são bem drenados, com textura variando entre arenosa a muito argilosa (LIMA et al., 2002; TEIXEIRA & MARTINS, 2003; KÄMPF & KERN, 2005; TEIXEIRA et al., 2010b), com média de 40 a 60 cm de espessura, alcançando ocasionalmente 2 m (SMITH, 1980). Apresentam pH em torno de 5 a 7, elevados teores de matéria orgânica e intensa atividade biológica quando comparados com os solos adjacentes, provenientes, provavelmente de restos de ossos humanos e de animais (LIMA et al., 2002). A saturação por alumínio é baixa (KÄMPF & KERN, 2005) e possuem altos teores de substâncias húmicas e visível distribuição de fragmentos de cerâmica e artefatos indígenas incorporados a matriz dos horizontes, por sua vez acúmulos de conchas e/ou carvão (BAENA & FALESI, 2001).

### **2.1.2 Ocorrência e distribuição**

As TPI's ocorrem frequentemente na Região Amazônica, sendo encontradas geralmente próximas aos cursos de água, ocupando várzeas, elevações marginais adjacentes, com extensão variando de um hectare (disseminados em solos de terra firme) a centenas de hectares, ao longo de rios e interflúvios (SMITH, 1980; KÄMPF & KERN, 2005). Estão situadas em locais bem drenados, localizados em áreas com posição topográfica que permite boa visualização espacial e acesso aos recursos de diferentes ambientes (SMITH, 1980; KERN & KÄMPF, 1989; KERN et al., 2003; KÄMPF & KERN, 2005).

As TPI podem corresponder a várias classes de solos, tais como Latossolos, Argissolos, Cambissolos, Plintossolos, Espodossolos e outros (SMITH, 1980; KÄMPF et al., 2003; TEIXEIRA, 2008; LIMA et al., 2010). Ainda, Teixeira et al. (2006), Corrêa (2007) e Macedo (2009) descreveram solos antrópicos soterrados (paleossolos) sob sedimentos andinos na várzea do rio Solimões - AM.

### 2.1.3 Classificação

Os solos que apresentam horizontes antrópicos típicos das TPI's não possuem uma ordem específica no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), sendo classificado nesse sistema como horizonte superficial A com características antrópicas (A antrópico). Ainda, podem corresponder a um epipedon antrópico (USDA, 1999), um horizonte A fímico (FAO, 1988) ou um horizonte hórtico (IUSS WORKING GROUP WRB, 2007).

Diferentemente, a legenda WRB, através da classe Antrossolos, distingue solos formados ou profundamente modificados por atividades humanas chamadas de processos antropogênicos, tais como adição de materiais orgânicos (resíduos domésticos) ou cultivo (KÄMPF et al., 2010). Segundo esses autores, por definição Antrossolos têm horizontes antropogênicos (do Grego *anthropos*, humano, e *pedogenesis*, formação do solo), nos quais os horizontes hórtico e plágico e possivelmente térrico são aplicáveis na classificação de solos antrópicos amazônicos antigos.

### 2.2 Solução do solo

A importância de se conhecer as propriedades químicas da solução do solo para o manejo racional do solo e da água é reconhecida há muitos anos. Inicialmente, acreditava-se que o equilíbrio químico da solução do solo requeria a precipitação dos sais adicionados pela adubação, com a finalidade de manter a composição da solução constante, a qual era governada, principalmente, pelos minerais de origem do solo (CAMERON, 1911).

Posteriormente, Hoagland et al. (1920) afirmavam que o progresso no estudo do solo como um meio para o crescimento das plantas dependeria de um melhor conhecimento da solução do solo, uma vez que os nutrientes absorvidos pelas plantas são obtidos da solução do solo. Logo, demonstraram que a concentração química da solução do solo poderia ser elevada pela adição de sais solúveis e que os elementos adicionados seriam os mesmos a apresentar aumento na concentração. A descoberta desses autores deu início ao estudo da composição química da solução do solo e as suas relações com a adubação e com o estado nutricional das plantas.

A solução do solo pode ser definida como sendo a fase aquosa do solo e seus solutos que se encontram dissolvidos em um dado momento, dentre eles os solutos minerais ( $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $NO_3^-$ ,  $NH_4^+$ ,  $Cl^-$ ,  $Na^+$ ,  $SO_4^-$ , etc.) e orgânicos (aminoácidos,

ácidos húmicos, enzimas, etc.) provenientes dos processos químicos e bioquímicos do solo e da troca com a hidrosfera e biosfera (BLANCO, 2006).

Este meio transporta espécies químicas para as partículas do solo, mantendo um contato íntimo entre este e os solutos do solo. Existe uma condição de equilíbrio entre os componentes da solução do solo e a fase sólida, através da ocorrência de importantes reações químicas com transferência de espécies entre as fases. Além da fase sólida, a solução do solo ainda interage com a fase gasosa, com as plantas e fauna do solo (MEURER & ANGHINONI, 2004).

Segundo esses autores, o estudo e caracterização da composição da solução do solo podem ser utilizados para prever transformações e reações de absorção, adsorção, dissolução e precipitação que podem ocorrer no solo, sendo que a análise química das soluções pode identificar as formas e quantidades dos elementos que estão sendo adicionados ao solo e transferidos para outros compartimentos do ambiente através do lençol freático.

A composição química da solução do solo varia em função do material de origem, pH, teor de matéria orgânica, adição de produtos químicos, das condições de oxidação-redução, do manejo do solo e também do clima (MEURER & ANGHINONI, 2004). De acordo com Mengel & Kirkby (1987), as concentrações de elementos na solução do solo seguem uma tendência em que geralmente fosfatos apresentam concentrações muito baixas, as de  $K^+$  e  $Mg^{2+}$  são médias, enquanto que as de  $Ca^{2+}$  são preferencialmente altas.

Quanto ao nitrogênio (N), observa-se que na região Amazônica existe a tendência natural dos ecossistemas de perder nitrogênio via solução do solo, devido ao intenso mecanismo de lixiviação, drenagem, e os rápidos mecanismos de decomposição (SANTOS et al., 1975). Estudos realizados por Alfaia (1994; 1997) têm demonstrado aumentos da mineralização do N orgânico do solo causado pela aplicação de fertilizantes nitrogenados e material vegetal de plantas leguminosas em solos de terra firme da Amazônia Central. Schroth et al. (2001) verificaram a entrada de  $5,5 \text{ kg ha}^{-1}$  de N na água da chuva na Amazônia Central, no qual 42 % foram na forma orgânica, 33 % na forma de amônia e 25 % na forma de nitrato.

### 2.2.1 Extratores de solução do solo

A dinâmica dos íons em sistemas aquático e terrestre é de fundamental importância, a saber: i) na avaliação do potencial poluidor de efluentes agroindustriais, dejetos domiciliares e adubos minerais (LORD & MITCHELL, 1998), agrotóxicos (PERRINGANIER et al., 1993); ii) na avaliação de processos pedogenéticos no perfil do solo (BERGGREN, 1999), e iii) na avaliação do estado nutricional das plantas (MARQUES et al., 1996).

Diferentes métodos podem ser utilizados para a obtenção da solução do solo. Alguns métodos são apresentados por Wolt (1994), dentre eles o da centrifugação, deslocamento em coluna, extração em membrana sob pressão, extrato de saturação, extratos aquosos e métodos lisimétricos, incluindo o método amplamente utilizado do lisímetro de tensão. Esse último método é mais conhecido como método dos extratores de cápsula porosa, no qual são constituídos por um tubo de PVC acoplado a uma cápsula de cerâmica porosa em sua extremidade inferior e na parte superior, vedado com borracha especial de silicone, sendo este equipamento construído de forma e princípio de funcionamento semelhante aos tensiômetros (WOLT, 1994).

Lao et al. (2004) citam que foram Briggs & McCall os primeiros a introduzirem a técnica de cápsulas de sucção, propondo seu uso como uma raiz artificial para simular a sucção de água e nutrientes disponíveis no solo para as plantas. Wagner (1962) foi o primeiro a utilizar os extratores providos de cápsula de cerâmica porosa para extrair a solução do solo, embora, freqüentemente, tenha sido atribuída a Reeve & Doering (1965) a invenção deste equipamento. Estes foram os primeiros a apresentar dados de condutividade elétrica medida na solução (CEs) extraída com cápsulas porosas, enquanto que Wagner (1962) realizou apenas uma avaliação do volume de solução coletado para diferentes umidades do solo e uma breve avaliação da adsorção de íons pela cápsula, e sugeriu que a metodologia poderia ser utilizada para o estudo do balanço de nutrientes a diferentes profundidades.

O uso de cápsulas de sucção é o único método viável para extrair *in situ* a solução do solo, sem fazer diluições da mesma. Desta forma, nos casos onde é necessário saber a composição iônica da solução do solo, esta técnica pode ser usada (LAO et al., 2004). Segundo Grossmann & Udluft (1991), este método de obtenção da solução do solo é vantajoso porque permite a amostragem contínua durante todo o período e, se necessário, em diversas profundidades de um perfil de solo. Ainda, a

solução pode ser extraída sem a destruição da unidade experimental. Entretanto, os autores alertam que alguns problemas podem ocorrer, tais como variabilidade espacial das propriedades estudadas e alteração da amostra pelo sistema de amostragem.

Segundo Moraes & Dynia (1990) a utilização de cápsulas porosas para extrair a solução do solo é bastante difundida, principalmente devido ao manejo fácil, custo relativamente baixo e pelo fato do extrato obtido não requerer tratamentos prévios às determinações físico-químicas e à quantificação de seus componentes. Em adição, a extração da solução do solo por meio de cápsulas porosas surge como uma alternativa, a um custo relativamente reduzido, capaz de ser aplicada a situações de campo.

Essa metodologia apresenta algumas vantagens, a saber: i) ser de fácil execução; ii) a solução corresponde à unidade equivalente ao momento em que a solução do solo é absorvida pela planta e assim os solutos dissolvidos são os mesmos que a planta estaria absorvendo; iii) a amostragem é sistemática, verdadeiramente pontual e não destrutiva e, iv) a aferição da condutividade elétrica é praticamente instantânea (SILVA et al., 1999).

Em relação a essas cápsulas, Cassel & Klute (1986) afirmam que duas características são importantes: a pressão de borbulhamento e a condutância da cápsula. A pressão de borbulhamento é a pressão requerida para forçar a passagem de ar através da cápsula de cerâmica imersa em água. Já a condutância hidráulica é definida como a quantidade de água que passa através da cápsula de cerâmica, por unidade de tempo e por unidade de diferença de pressão.

### **2.3 Dinâmica dos elementos no solo**

A dinâmica dos íons no solo é dependente de vários fatores, tais como textura do solo, quantidade de nutriente aplicada, intensidade de chuva ou lâmina de água aplicada na irrigação, forma química do nutriente aplicado, entre outros. Sousa (2000) acrescenta que o movimento de íons no solo está relacionado com a intensidade de percolação da água e com o comportamento de cada um em relação às condições de fixação, adsorção e lixiviação, que é função de cada íon e do tipo de solo em que se encontra.

Hedin et al., (2003) relata que a intensa produção de ácidos orgânicos nos ecossistemas Amazônicos favorece o aumento da acidez da solução do solo ( $\text{pH} < 5,0$ ), elevação das concentrações de alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ), e uma redução na disponibilidade de P,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ . Estudos realizados por Laurance (1999), na região de Manaus, relatam

a baixa disponibilidade de P, elemento que aparece em menores concentrações nos solos que apresentam pH entre 3,4 a 4,5. A forma predominante de fósforo no solo é a inorgânica, que se liga com alta energia à fração mineral (NOVAIS & SMYTH, 1999).

A deficiência de P disponível no solo também está fortemente relacionada com a cobertura vegetal. Segundo Kauffman (1998), em florestas primárias 65% do estoque deste elemento está na biomassa acima do solo. Em estudo realizado na região de Manaus, Luizão (1989) observou que por intermédio da reciclagem de serrapilheira sobre Latossolos ocorre a entrada anual de 3 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato.

De forma geral, para muitos solos da Amazônia os cátions solúveis encontram-se em baixas concentrações (STALLARD & EDMOND, 1981). Segundo Marrs (1991), a disponibilidade do Ca<sup>2+</sup> no solo é um fator limitante da produtividade e da ciclagem de outros nutrientes, bem como a taxa de mineralização do nitrogênio em florestas de terra firme na Amazônia. As principais fontes de Ca<sup>2+</sup> solúvel em áreas de floresta na região de Manaus se originam da decomposição da serrapilheira e da precipitação (BRINKMANN & NASCIMENTO, 1973).

Mortatti (1995) em trabalho realizado na região Amazônica observou que para alguns elementos o aporte atmosférico é significativo. Na composição química da água da chuva na região de Manaus, este autor observou que, no ano de 1989, somente via precipitação ocorreu a entrada em  $\mu\text{M}^{-1}$  de 7,02 de Na<sup>+</sup>, 4,61 de K<sup>+</sup>, 6,50 de Ca<sup>2+</sup> e 0,36 de Mg<sup>2+</sup> ao sistema. Na água de chuva, que possivelmente corresponda à principal entrada de nutrientes no ecossistema florestal, existem dados de fluxos de íons na Reserva Florestal Adolpho Ducke, próximo de Manaus: Na<sup>+</sup> (8,4) e K<sup>+</sup> (2,40) (kg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) (Franken et al., 1985). Após percolar o dossel as concentrações de nutrientes (kg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) são aumentadas para: Na<sup>+</sup> (11,10) e K<sup>+</sup> (22,1).

Piccolo et al. (1994) estudando a composição mineral da solução do solo durante 16 meses (uma estação seca e dois períodos chuvosos) em uma floresta natural e uma submetida a desmatamento e queima da vegetação, observaram que no primeiro período úmido, o fluxo totais dos íons mais abundantes (Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mn<sup>2+</sup>) foram maiores sob floresta queimada do que sob floresta natural; porém, para os dois períodos seguintes, um seco e outro chuvoso, os fluxos de nutrientes foram mais elevados na floresta natural.

Cerca de 99% do Ca<sup>2+</sup> estocado na biomassa acima do solo retorna via reciclagem de serrapilheira que ocorre principalmente durante a estação úmida

(CAMPO et al., 2000), sendo equivalente a uma entrada de 37 kg ha<sup>-1</sup> de Ca<sup>2+</sup> (LUIZÃO, 1989). No entanto, em áreas desmatadas e queimadas, as concentrações de Ca<sup>2+</sup> são mantidas por um curto período de tempo, derivado da lixiviação de material remanescente dos processos de corte e queima, que vão sendo perdidos após alguns meses de queima (BRINKMANN & NASCIMENTO, 1973). Por meio de crescimento secundário relativamente denso, os níveis de concentração de Ca<sup>2+</sup> tendem a aumentar no solo, devido à contribuição da decomposição da serrapilheira como fonte principal (BRINKMANN & NASCIMENTO, 1973).

O Mg<sup>2+</sup> também apresenta grande contribuição biológica. Luizão (1989), em trabalho realizado na região de Manaus, observou que a principal fonte desse nutriente no solo é derivada da reciclagem de serrapilheira, correspondendo a uma entrada anual de 14 kg ha<sup>-1</sup> de Mg<sup>2+</sup>. Campo et al. (2000) estudando a precipitação em uma floresta tropical no México em um período de seis anos verificaram que há entrada de 0,80 kg ha<sup>-1</sup> de Mg<sup>2+</sup>, perdas via escoamento superficial de 1,79 kg ha<sup>-1</sup> e retorno ao solo de 84 % via reciclagem da serrapilheira. Neu (2005) verificou que a dinâmica do Mg<sup>2+</sup> está relacionada com a sazonalidade da precipitação, apresentando grandes aportes na solução dos solos com o início do período chuvoso, alcançando valores superiores a 16 µ M<sup>-1</sup> no mês de setembro de 2002.

O K<sup>+</sup> apresenta como fonte de maior importância a precipitação (BERNER & BERNER, 1987) e, com participação menos significativa, os exsudados de raízes em sistemas cobertos por vegetação (STALLARD & EDMOND, 1981). Segundo Luizão (1989), ocorre entrada significativa deste elemento, via ciclagem de serrapilheira em floresta primária de Manaus, valores que correspondem a 15 kg ha<sup>-1</sup> de K<sup>+</sup> por ano. Já em áreas desmatadas e queimadas, as cinzas são uma fonte desse nutriente por poucos anos. Após seis anos a disponibilidade decresce, devido à grande mobilidade deste elemento, que é perdido rapidamente via solução do solo (KAUFFMAN et al., 1998).

Mendoza (2011) observou uma tendência do Na<sup>+</sup> ser o elemento de maior concentração na solução em TPI's e em solos adjacentes na região de Autaz Mirim e Rio Preto da Eva, ambos no estado do Amazonas. Entretanto, este padrão foi diferenciado na TPI e Terra Mulata do Encontro das Águas, onde o Ca<sup>2+</sup> e K<sup>+</sup> se encontraram mobilizados em maiores concentrações. Neu (2005) observou uma tendência sódica-potássica da solução do solo, para a maioria dos ecossistemas avaliados, sendo o Na<sup>+</sup> o elemento de maior contribuição para esta tendência, no qual

apresentou correlação com a sazonalidade pluviométrica, a pedologia local e a cobertura vegetal. Ainda, essa autora constatou concentrações mais elevadas de  $\text{Na}^+$  durante o período chuvoso e após eventos isolados de chuva, sendo as principais fontes de  $\text{Na}^+$  para esta região.

Ferreira et al. (2006) verificou que o  $\text{Na}^+$  foi o íon encontrado em maiores quantidades na solução do solo, principalmente nos dois últimos períodos do ano. Os valores mais elevados foram registrados no período seco, com valor médio máximo de  $6,49 \text{ kg ha}^{-1}$  (centro de clareira) no qual foram sempre mais elevadas do que na parcela controle.

Segundo Neu (2005), os maiores teores de  $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  estão associados com os maiores teores de argila dos Latossolos e Argissolos, no qual apresentaram maiores concentrações na profundidade de 20 cm. Por outro lado, essa autora verificou decréscimo significativo destes metais na profundidade de 100 cm, fato esse acompanhado de aumento significativo dos teores de carbono orgânico dissolvido, demonstrando a existência de correlação negativa entre esses teores e os de  $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$ . De forma semelhante, Miranda (2006) mostrou que a concentração de  $\text{Fe}^{2+}$  na solução do solo foi bastante variável ao longo do ano, diminuindo em profundidade para todas as coberturas vegetais. Ainda, esse autor verificou que a concentração média mensal de  $\text{Fe}^{2+}$  na solução do solo sob pastagem foi superior à dos demais solos sob diferentes coberturas vegetais ( $129,15 \mu\text{mol L}^{-1}$ ).

O cobre ocorre na solução do solo quase que exclusivamente na forma de  $\text{Cu}^{2+}$  (SODRÉ & LENZI, 2001; ABREU et al., 2001) e a concentração na solução é geralmente muito baixa (2 a  $100 \text{ mg kg}^{-1}$ ) sendo governada pela adsorção as partículas do solo (ABREU et al., 2001). As formas reduzidas monovalentes e metálicas são possíveis somente em solos sob condições de redução, especialmente na presença de íons de enxofre e halogênios (SODRÉ & LENZI, 2001).

Estudo da mobilização de  $\text{Mn}^{2+}$  em solos da Amazônia submetido à inundação realizado por Lima et al. (2005) indicaram que esse elemento está igualmente ausente ou ocorre em níveis muito baixos tanto nos Plintossolos como nos horizontes subsuperficiais do Alissolo e dos solos antrópicos, o que foi atribuído por esses autores à ausência de formas oxídicas de  $\text{Mn}^{2+}$  nesses solos. De forma geral, esses autores verificaram ainda que os teores mais elevados de  $\text{Mn}^{2+}$  em solução foram observados

nos horizontes superficiais, certamente em decorrência da presença de formas menos estáveis e do maior conteúdo de matéria orgânica nesses horizontes.

### **3. OBJETIVO GERAL**

Avaliar a dinâmica de nutrientes da solução do solo em Argissolo Amarelo com A moderado e em Argissolo Amarelo com A antrópico (Terra Preta de Índio) em florestas secundárias no município de Iranduba – AM.

#### **3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Caracterizar os solos das áreas de estudos quanto as suas propriedades morfológicas (espessura e cor), físicas, químicas e mineralógicas;
- ✓ Avaliar a dinâmica do pH e da condutividade elétrica em solução do solo;
- ✓ Avaliar a dinâmica dos cátions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  na solução do solo.

### **4. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **4.1 Localização**

O estudo foi realizado no Campo Experimental do Caldeirão, localizado no município de Iranduba estado do Amazonas, localizado a aproximadamente 22 km de Manaus, entre as coordenadas geográficas de 03° 14'22" e 03°15'47" de latitude Sul e a 60° 13'02" e 60° 13'50" W.Gr. A seguir são dadas as características climáticas e edáficas da área conforme (RODRIGUES, 1991).

#### **4.2 Meio Físico**

##### **4.2.1 Clima**

*Temperatura do ar:* a baixa latitude da região e a sua continentalidade fazem com que a mesma fique condicionada a um regime térmico bastante elevado, com temperatura média anual de 26,7 °C e valores médios para as máximas e mínimas de 31,2° C e 23,5° C, respectivamente.

*Pluviosidade:* Na Tabela 1 e Figura 1 são apresentados os valores de precipitação da área estudada compreendida no período de janeiro e junho de 2011 (EMBRAPA- CPAA, dados não publicados) e série histórica das chuvas na cidade de Manaus, respectivamente. As chuvas na região apresentam um total anual na ordem de 2.101 mm, resultando em boa contribuição para o manancial hídrico local. Dada, porém, a irregularidade que se observa na distribuição das chuvas durante os meses, fica a região em certa época do ano, condicionada a um período de estiagem bastante acentuado, definindo assim no regime pluviométrico duas épocas distintas durante o ano: a) uma bastante chuvosa que vai de novembro a maio, sendo o mês de março o mais chuvoso, b) outra época menos chuvosa, estendendo-se pelos demais meses do ano, com os meses de julho a setembro apresentando em geral período de estiagem, com chuvas de caráter convectivas ou locais no decorrer desta época.

*Umidade relativa:* apresenta média anual de 84 a 77 %. A distribuição das médias de umidade segue de perto a das chuvas, fazendo com que as menores ocorram na época das menores precipitações.

*Tipo climático:* de acordo com tais condições climáticas e segundo Köppen esta região se classifica no tipo Am<sub>i</sub>, assim discriminada:

A – clima tropical chuvoso no qual as temperaturas médias dos meses nunca chegam abaixo de 18° C.

m – clima cujo regime pluviométrico define uma estação relativamente seca, porém o total pluviométrico anual é suficiente para manter este período (< 60 mm).

i – clima com variação anual de temperatura inferior a 5° C.

*Balanço hídrico:* de janeiro até maio o solo se apresenta em geral, com teor de água ao nível da capacidade de campo, podendo inclusive ocorrer excedentes de água; em seguida, há um decréscimo contínuo no teor de umidade no solo até outubro, provocado pelas precipitações que apresentam alturas mensais inferiores e pela evapotranspiração potencial da região, ocorrendo assim déficits hídricos, sendo estes mais acentuados entre agosto e setembro.

#### **4.2.2 Geologia e Litologia**

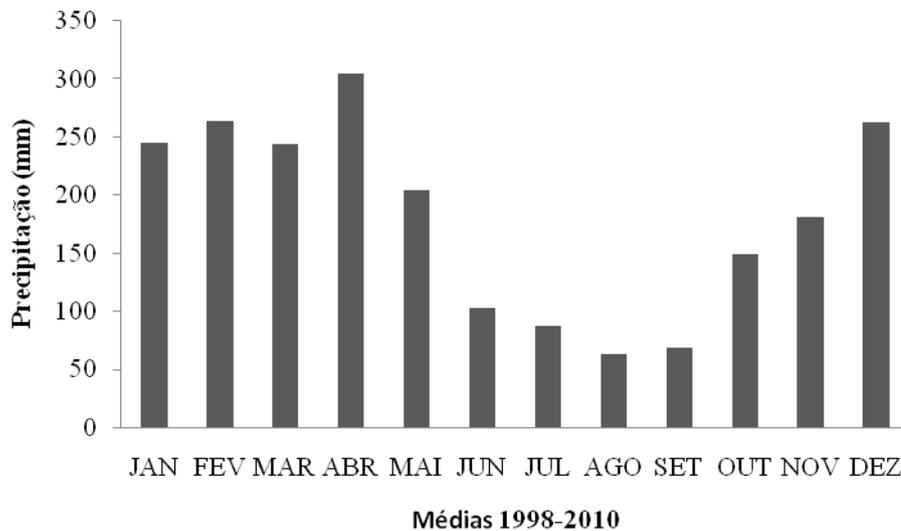
Na área de estudo os solos têm sua origem a partir do material proveniente de rochas sedimentares do período Cretáceo/Terciário, representado pela formação Alter

do Chão. A litologia quartzo-arenito é usada em construção civil, com a denominação arenito Manaus. O material resultante da alteração dessas rochas sedimentares deu origem aos Latossolos Amarelos nas suas diferentes classes texturais e Podzólicos Vermelho-Amarelos, atualmente classificados como Argissolos Vermelho-Amarelos (EMBRAPA, 2006).

**Tabela 1.** Precipitação pluviométrica da área de estudo durante os meses de Fevereiro a Junho de 2011. Estação Experimental do Caldeirão (Embrapa/CPAA), Iranduba – AM.

Dia	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho
	Precipitação (mm)				
1	3,0	47,3	8,7	0,0	3,0
2	0,0	10,0	5,7	3,9	8,9
3	34,4	45,4	6,5	73,1	0,0
4	53,5	28,5	1,5	4,8	0,0
5	0,5	35,0	6,9	0,0	0,0
6	2,0	0,0	8,4	11,5	0,0
7	14,8	0,0	36,8	1,4	0,0
8	12,3	0,0	0,7	0,0	0,4
9	1,5	8,4	11,5	0,0	0,0
10	54,0	58,6	3,0	3,9	0,0
11	1,2	0,1	37,4	0,0	0,0
12	0,0	0,1	0,0	0,0	2,1
13	0,0	0,0	0,0	18,2	2,1
14	2,1	0,0	13,3	0,0	1,8
15	0,0	1,8	0,0	0,0	0,8
16	8,2	0,0	8,8	0,0	15,2
17	20,9	0,0	66,1	2,4	0,1
18	0,0	0,6	0,2	0,0	0,0
19	18,3	8,0	0,0	0,1	0,0
20	4,3	0,0	0,1	7,7	0,0
21	0,0	0,0	0,8	0,2	5,2
22	0,0	4,6	95,8	5,3	0,0
23	34,6	0,0	0,0	0,6	0,9
24	15,9	0,0	0,0	0,0	0,0
25	17,5	16,6	0,0	0,0	0,0
26	6,6	4,6	57,9	0,5	13,4
27	2,4	4,0	12,4	5,8	8,8
28	0,6	16,6	0,3	0,1	0,0
29	-	2,0	13,8	9,6	9,8
30	-	9,2	0,0	6,0	5,2
31	-	26,0	-	0,0	-
<b>Total</b>	<b>308,6</b>	<b>327,4</b>	<b>396,6</b>	<b>155,1</b>	<b>77,7</b>

Fonte: Estação meteorológica do Campo Experimental Caldeirão – Embrapa - CPAA



**Figura 1.** Média histórica (1998-2010), da precipitação pluviométrica da região de Manaus, com exceção do ano de 2009 (Fonte: CPRM).

#### **4.2.3 Geomorfologia**

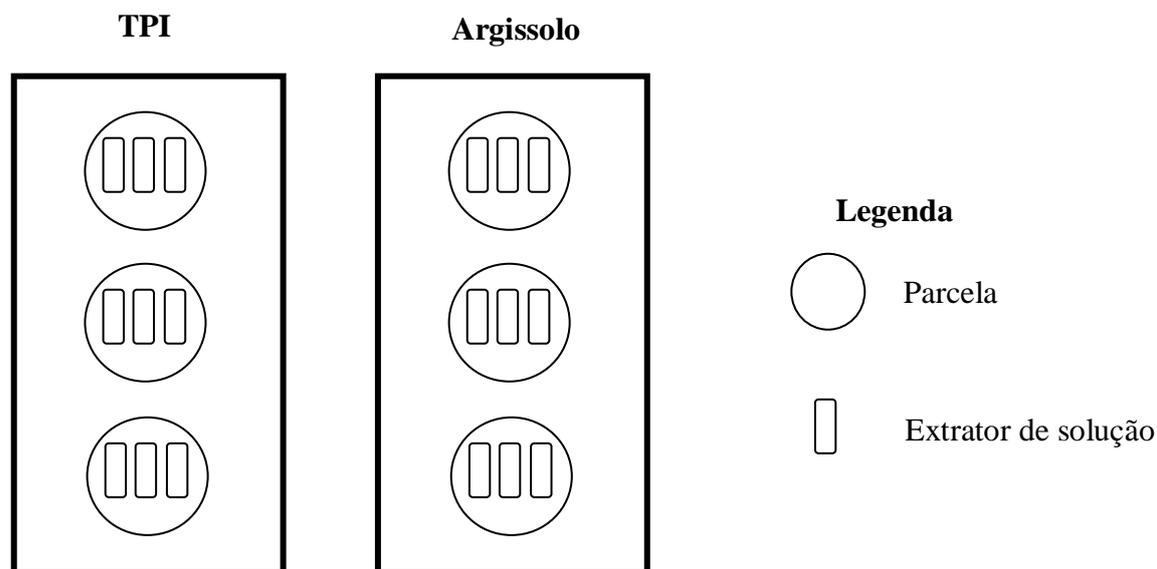
A área do Campo Experimental do Caldeirão está toda inserida no baixo platô amazônico, apresentando relevo variando de plano a ondulado, sendo que nas áreas estudadas o mesmo é considerado plano.

#### **4.2.4 Vegetação**

A vegetação na área de estudo é composta por floresta equatorial subperenifólia, luxuriante, densa, heterogênea e intensamente verde, que de acordo com o aspecto florístico, é denominada de floresta equatorial subperenifólia de terra firme. Ela não ocorre em toda a extensão, devido às variações influenciadas, pelo relevo, solo e mesmo pelo clima, que são responsáveis pelo surgimento de tipos de revestimento botânico bastante diferente (RODRIGUES, 1991). Entretanto, o local do experimento está sob floresta secundária, regionalmente dominada capoeira, de aproximadamente 30 a 40 anos de regeneração.

### **4.3 Delineamento Experimental**

Em campo foram distribuídas seis parcelas, sendo três numa área de Argissolo Amarelo A moderado e três em Argissolo Amarelo A antrópico. Em cada parcela foi instalado três cápsulas extratoras de solução do solo, nas profundidades de 20, 50 e 100 cm (Figura 2).



**Figura 2.** Delineamento experimental. Argissolo Amarelo A antrópico (TPI); Argissolo Amarelo A moderado (Solo adjacente). Estação Experimental do Caldeirão (Embrapa/CPAA), Iranduba – AM.

#### **4.4 Procedimento Amostral**

##### **4.4.1 Amostragem do Solo**

Foram abertos dois perfis com 2 m de profundidade, um em cada área estudada: Argissolo Amarelo com horizonte A antrópico (P01) e Argissolo Amarelo com horizonte A moderado (P02) (Figura 3). Tais perfis foram descritos conforme os critérios descritos em Santos et al. (2005). No presente estudo é discutido somente o parâmetro cor e espessura, tendo em vista que o mesmo foi realizado em conjunto com o plano de tese de Macedo (em fase de elaboração), no qual utilizará as demais informações morfológicas desses perfis.

Em cada horizonte identificado foram coletadas amostras em estrutura indeformadas em cilindros de aço de 100 cm<sup>3</sup> para determinações da densidade do solo ( $\rho_s$ ) e volume total de poros (VTP).

Foram coletadas amostras em estrutura deformadas por meio de tradagens nas profundidades de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 em todos os seis pontos para

determinação dos i) parâmetros físicos (granulometria e argila dispersa em água); ii) químicos (pH,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , P,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  e C orgânico) e; iii) mineralógicos.



**Figura 3.** A) Argissolo Amarelo A antrópico; B) Argissolo Amarelo A moderado. Estação Experimental do Caldeirão (Embrapa/CPAA), Iranduba – AM.

Quanto a área do Argissolo Amarelo A antrópico, a tradagem até 40 cm corresponde ao horizonte  $\text{Au}_1$ ; de 40-60 cm ao  $\text{Au}_2$ ; de 60 - 80 cm a base do  $\text{Au}_2$  e do  $\text{Au}_3$  e; de 80 - 100 cm ao horizontes  $\text{Au}_3$  e  $\text{Au}_4$ . Na área do Argissolo Amarelo A moderado, a tradagem de 0-20 cm corresponde aos horizontes A e topo do AB; de 20-40 cm ao AB; de 40-60 cm ao BA e; 60-100 ao  $\text{B}_{11}$ .

#### 4.4.2 Amostragem da Solução do Solo

Para coleta de solução do solo foi utilizado um conjunto de extratores de solução denominados de baterias de extratores. Esses apresentam diâmetro de 23 mm e consistem de um tubo de PVC com uma cápsula de cerâmica porosa na extremidade que

fica em contato com o solo, na profundidade de coleta estabelecida. Essa cápsula coleta solução do solo através da diferença de pressão, produzida com bomba de vácuo manual (Figura 4). O conjunto foi instalado nas profundidades de 20, 50 e 100 cm por meio de um trado de rosca, com o qual se abriu um furo onde foi inserido o extrator, de maneira que a cápsula ficasse na profundidade desejada e em contato com o solo. Vale ressaltar que tais extratores foram instalados na parcela de forma assimétrica, ou seja, sem espaçamento fixo a ser seguido.



**Figura 4.** Procedimento de amostragem da solução do solo. A) Coleta da solução; B) Amostra sendo fracionada; C) Adição de HNO<sub>3</sub> para preservação da amostra. Estação Experimental do Caldeirão (Embrapa/CPAA), Iranduba – AM.

O período de amostragem foi concentrado nos meses de fevereiro a junho de 2011, totalizando dez coletadas. A solução do solo obtida por diferença de pressão foi coletada com auxílio de uma seringa de 50 ml. As amostras de solução para determinação da fase inorgânica (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Al<sup>3+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>) receberam ainda no campo 200 µl de HNO<sub>3</sub> como preservante e em seguida foram armazenadas em tubos de polipropileno (tubos Falcon) sob refrigeração até serem analisadas.

Após coletadas e armazenadas, as mesmas foram encaminhadas refrigeradas em gelo para o Laboratório de Análise de Solos e Plantas da Embrapa Solos, na cidade do Rio de Janeiro – RJ no qual foram realizadas as análises. Para as amostras de solução do solo no qual foram determinados o pH e a condutividade elétrica, o procedimento foi semelhante, não utilizando o HNO<sub>3</sub>.

## **4.5 Procedimentos Analíticos**

As análises de solo foram realizadas no LASP – Laboratório de Análise de Solo e Planta da Embrapa Amazônia Ocidental em Manaus – AM. As análises mineralógicas foram realizadas no laboratório de Mineralogia de Solos da ESALQ-USP em Piracicaba – SP e da solução do solo no LASP – Embrapa Solos, Rio de Janeiro – RJ.

### **4.5.1 Granulometria, argila dispersa em água (ADA) e grau de flocculação (GF)**

A análise granulométrica foi realizada em amostras de Terra Fina Seca ao Ar (< 2 mm) após agitação mecânica (20 minutos) e dispersão química com solução NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> e a ADA por meio de agitação mecânica e água destilada. A fração areia foi separada em peneiras de 2-0,2 mm (areia grossa) e de 0,2-0,05 mm (areia fina). Em seguida, essas foram secas em estufa e pesadas em balança eletrônica. O teor de argila foi determinado pelo método da pipeta (EMBRAPA, 2009).

O grau de flocculação foi calculado por meio da expressão:

$$GF(\%) = [(At - ADA)/At] * 100$$

Em que: GF = grau de flocculação (%); At = Argila total (g kg<sup>-1</sup>); ADA = Argila dispersa em água (g kg<sup>-1</sup>).

### **4.5.2 Densidade do Solo ( $\rho_s$ ), Volume total de poros (VTP) e Retenção de Água.**

Para estimar a densidade do solo foi utilizado o método do anel volumétrico (EMBRAPA 2009). As amostras coletadas em cilindros metálicos foram preparadas retirando-se o excesso de solo, de maneira que o solo amostrado ocupasse somente o volume interno do anel. Em seguida, uma tela permeável foi colocada no fundo dos cilindros de maneira que a mesma permitisse o fluxo de água/ar e impedisse a perda de solo. Após a realização desses procedimentos, os anéis foram saturados numa bandeja por meio da elevação gradual de uma lâmina de água. Após, a retenção de água foi determinada sucessivamente nas tensões de 1.0, 1.5 e 1.8 pF (pF = log<sub>10</sub> cm H<sub>2</sub>O) empregando o método da mesa de tensão. Em seguida, as amostras foram levadas à estufa onde foram secas a 105° C por 24 horas para determinação do conteúdo da massa de solo seco e assim obter-se a  $\rho_s$ , conforme Blake & Hartge (1986), dada pela seguinte expressão:

$$\rho_s = m_{ss} / v$$

Em que:  $\rho_s$  = densidade do solo ( $\text{Mg m}^{-3}$ );  $m_{ss}$  = massa do solo seco a  $105^\circ \text{C}$  ( $\text{Mg m}^{-3}$ );  $v$  = volume do cilindro ( $\text{m}^3$ ).

O VTP foi calculado a partir dos valores de densidade do solo e de densidade de partículas (foi considerado o valor de  $2,65 \text{ Mg m}^{-3}$ ), segundo a expressão:

$$\text{VTP} = [1 - (\rho_s / \rho_p)] * 100$$

Em que: densidade de partículas ( $\text{Mg m}^{-3}$ )

A microporosidade foi calculada por meio da expressão:

$$\text{Microporosidade (\%)} = 100 * (\theta_{pF 1.8} - m_{ss}) / (m_{ss})$$

A macroporosidade foi calculada por meio da expressão:

$$\text{Macroporosidade (\%)} = \text{VTP} - \text{microporosidade} * 100$$

Em que: VTP = volume total de poros

O conteúdo de água volumétrica foi calculada para todas as tensões ( $\theta_{pF 1.0}$ ,  $\theta_{pF 1.5}$ ,  $\theta_{pF 1.8}$ ) a partir da diferença entre a umidade na referida tensão e a massa do solo seco.

Obtido estes valores, o conteúdo de água foi calculado pela seguinte fórmula:

$$\theta = \text{conteúdo de água} / \text{volume}$$

#### **4.5.3 Análises químicas**

As análises químicas realizadas foram as seguintes: pH (em água e em solução KCl  $1 \text{ mol}^{-1}$ ); cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) e alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ), extraídos com solução

KCl 1 mol<sup>-1</sup> e quantificados por titulometria com solução NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup>; potássio (K<sup>+</sup>) extraído com solução HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup> e quantificado por fotometria de chama; acidez potencial (H+Al), extraída com solução de acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> a pH 7,0 e quantificada por titulometria com solução NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup>; fósforo disponível (P) pelo extrator Mehlich-1, quantificado espectrofotometricamente por meio da leitura da intensidade da cor do complexo fosfomolibídico produzido pela redução do molibdato de amônio com o ácido ascórbico e carbono orgânico pelo método do Walkley-Black. Detalhes dos procedimentos metodológicos estão descritos em Embrapa (2009).

Por meio das análises anteriormente descritas, foram calculados os seguintes índices: soma de bases (S) = Ca<sup>+2</sup> + Mg<sup>+2</sup> + K<sup>+</sup> + Na<sup>+</sup>; capacidade de troca catiônica (T) = S + Al<sup>+3</sup> + H; saturação por bases (V %) = 100 S/T; saturação por alumínio (m %) = 100 Al<sup>+3</sup>/S + Al<sup>+3</sup>, conforme Embrapa (2009).

#### **4.5.4 Análises mineralógicas da fração argila (DRX)**

Foram realizadas análises mineralógicas conforme Jackson (1979) nas amostras de solo coletadas nas profundidades de 0-20 e 80-100 em ambas as áreas de estudo. Para tal, foram pesadas 40 g de solo no qual foram submetidas a eliminação de matéria orgânica com peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 30%. Nesta etapa procedeu-se reação a quente, em placa aquecedora a 75° C. Em seguida, o material foi transferido para tubos de centrifuga com acetato de sódio (NaOAc), no qual procedeu-se lavagem e centrifugação do material por três vezes para remoção de cátions liberados. Em seguida, a amostra foi centrifugada com etanol, eliminando o sobrenadante.

As amostras foram posteriormente desferrificadas, aplicando-se 45 ml da solução (bicarbonato de sódio + citrato de sódio) e posterior aquecimento em banho-maria a 75° C. Aguardou-se cinco minutos para aquecer, em seguida adicionou-se 1 g de ditionito de sódio, agitando por um minuto. Essa etapa foi repetida várias vezes, espaçadamente a cada quinze minutos. Após observar que a coloração da amostra estava cinza, procedeu-se a lavagem final com NaCl.

Com as amostras em tubos de centrifuga, procedeu-se a separação da areia, passando a mesma em peneira com malha de 270 mesh, obtendo-se a fração silte e argila. Esta fração silte + argila foi centrifugada várias vezes com água destilada, sendo que o silte foi descartado e o sobrenadante (argila) foi coletado e floculado com HCl. A

fração argila foi centrifugada por três vezes com solução de KCl. Por fim, procederam-se inúmeras lavagens e centrifugações com etanol, para retirada dos cloretos e uma única lavagem com água destilada. A argila total foi saturada com KCl 1 mol L<sup>-1</sup> para saturação das entrecamadas com K<sup>+</sup> e em seguida armazenadas em refrigerador.

Foram confeccionadas lâminas orientadas para identificação da assembléia mineralógica. As lâminas de argila foram submetidas a temperatura ambiente, em 300° e em 500°C.

#### **4.5.5 Solução do Solo**

Nas amostras de solução do solo as concentrações dos cátions Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Mn<sup>+2</sup>, Cu<sup>+2</sup>, Zn<sup>+2</sup>, Fe<sup>+2</sup> e Al<sup>3+</sup> foram determinadas em equipamento Perkin-Elmer modelo OPTIMA 3000. Foi utilizado o sistema de nebulização ultra-sônico a partir de equipamento CETAC modelo U-5000AT<sup>+</sup>. A concentração dos elementos foi determinada com base na curva analítica obtida por diluição adequada do padrão analítico multielementar IV da Merck (diluído em HNO<sub>3</sub> 1 mol L<sup>-1</sup>) e pelas respectivas áreas dos picos das linhas de emissão (Embrapa, 2009).

#### **4.6 Análises estatísticas**

Os dados foram analisados por meio de estatística descritiva. Foram calculados média, desvio padrão, valor mínimo e máximo para os valores das 10 coletas realizadas durante o estudo. Tais análises estatísticas foram aplicadas para cada profundidade 20, 50 e 100 cm na área de Argissolo Amarelo com horizonte A antrópico e para as profundidades 50 e 100 cm no Argissolo Amarelo com horizonte A moderado.

### **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **5.1 Características morfológicas**

Na Tabela 2 são apresentadas a espessura e a cor dos perfis estudados. Foram identificados cinco horizontes antrópicos (Au<sub>1</sub>; Au<sub>2</sub>; Au<sub>3</sub>; Au<sub>4</sub> e Au<sub>5</sub>) no Argissolo Amarelo A antrópico (P01), totalizando uma espessura de 130 cm. Tais horizontes foram classificados como antrópicos segundo Embrapa (2006), por serem formados ou modificados pelo uso contínuo do solo, pelo homem, com adições de material orgânico em mistura ou não com material mineral e ocorrência de fragmentos cerâmicos. Estes

contrastam com o Argissolo Amarelo A moderado (P02), assim denominado por apresentar espessura de 5 cm, teores de C orgânico  $> 6 \text{ g kg}^{-1}$  e estrutura granular (dados não apresentados).

Segundo Kern et al. (2003) 50 % dos sítios arqueológicos documentados com Terras Pretas de Índio no Pará, têm um horizonte A entre uma profundidade média de 30 a 60 cm. Tal espessura no horizonte A antrópico é significativamente maior quando comparados ao horizonte A dos solos adjacentes que variam em torno de 15-20 cm de profundidade (KERN et al., 2003). Ainda, Smith (1980) comenta que a espessura da TPI está correlacionada com o tempo de ocupação do sítio, estimando-se uma taxa de formação de 1 cm de espessura para dez anos de assentamento.

No P01 a cor úmida dos horizontes antrópicos variou de preto (10YR 2/1) no horizonte Au<sub>1</sub> a bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4) no Au<sub>4</sub>. Os demais horizontes antrópicos exibiram coloração cinzento muito escuro (10YR 3/1), bruno-escuro (10YR 3/3) e bruno-amarelado-escuro (10YR 3/4) nos horizontes Au<sub>2</sub>, Au<sub>3</sub> e Au<sub>5</sub>, respectivamente. Esse escurecimento em profundidade está relacionado com os maiores conteúdos de C orgânico (dados não apresentados), no qual pode ser estimado pela distribuição de carvões observados em campo nesses horizontes durante a descrição dos perfis, o que certamente contribui para o processo de melanização.

Tal fato também foi relatado por Glaser et al. (2003), no qual enfatiza que a coloração escura da TPI é resultado da melanização causado pela adição de matéria orgânica, bem como da grande quantidade de carvão que sempre estão associados. De forma semelhante, Woods (2003) discute que os solos mais escuros geralmente estão associados a ocupações humanas devido ao enriquecimento orgânico e a acúmulo de húmus.

O horizonte subsuperficial Bt<sub>1</sub> do P01 mostrou cor com maior valor e croma (bruno-amarelado, 10YR 5/6) ao passo que o horizonte Bt<sub>2</sub> apresentou cor mais escura, inclusive com mudança no matiz (bruno-forte, 7,5YR 5/8, úmida), o que marca um nítido contraste com os horizontes subjacentes.

O horizonte A do P02 apresentou cor mais clara que os três primeiros horizontes antrópicos e cor idêntica aos horizontes Au<sub>4</sub> e Au<sub>5</sub> (bruno-amarelado-escuro, 10YR 3/4), o que corrobora com a ideia de espessamento e escurecimento do horizonte A em decorrência da prática antrópica. Os horizontes de transição AB e BA e os horizontes Bt<sub>1</sub> e Bt<sub>2</sub> apresentaram cores brunadas; no entanto, o horizonte Bt<sub>3</sub> apresentou coloração

vermelho-amarelado (5YR 5/6). Tal coloração reflete a coexistência de maior atividade de água e ausência de período seco pronunciado, no qual favoreceu a formação de goethita (predominantemente), imprimindo-lhes a coloração amarelada.

## 5.2 Parâmetros Físicos

### 5.2.1 Composição Granulométrica

Foram observadas poucas diferenças na composição granulométrica entre as áreas estudadas (Tabela 3), com o incremento da fração argila com o aumento da profundidade. Ambas as áreas apresentaram textura franco-argilo-arenosa na camada de 0-20 cm, enquanto as demais profundidades foram classificadas como argilosas, com exceção das profundidades de 20-40 e 40-60 cm do Argissolo Amarelo A moderado, classificadas como argila-arenosa. Um fator que contribui para o aumento da fração grossa em superfície está relacionado com a migração de argilas por meio da água de percolação em poros vazios para os horizontes subsuperficiais, processo esse denominado de argiluviação.

Em adição, Teixeira et al. (2010b) relatam que o horizonte antrópico das TPI, normalmente apresenta fração areia em maior percentual, porém em algumas localidades o horizonte antrópico pode apresentar textura argilosa e mesmo muito argilosa. Esses autores creditam a predominância da textura mais arenosa ao uso intenso do fogo e a disponibilidade de material orgânico, que quando combinados originam partículas organominerais bastante estáveis do tamanho da fração areia.

**Tabela 2.** Espessura, cor e características físicas do Argissolo Amarelo A antrópico e Argissolo Amarelo A moderado na Estação Experimental do Caldeirão (Embrapa/CPAA), Iranduba – AM.

Hz	Prof. (cm)	Cor (Úmida)		Ds <sup>1</sup> Mg m <sup>-3</sup>	Macroporosidade	Microporosidade -----%-----	VTP <sup>2</sup>
		Matriz	Mosqueado				
<b>Argissolo Amarelo A antrópico (P01)</b>							
Au <sub>1</sub>	0-40	10YR 2/1	10YR 3/1	1,29	28	22	50
Au <sub>2</sub>	40-71	10YR 3/1	10YR 4/4	1,29	23	27	50
Au <sub>3</sub>	71-90	10YR 3/3	-	1,28	21	30	51
Au <sub>4</sub>	90-105	10YR 4/4	-	1,31	22	27	49
Au <sub>5</sub>	105-130	10YR 3/4	10YR 5/6	1,18	21	34	55
Bt <sub>1</sub>	130-165	10YR 5/6	10YR 4/4	1,27	17	34	51
Bt <sub>2</sub>	165-200	7,5YR 5/8	-	1,26	18	33	51
<b>Argissolo Amarelo A moderado (P02)</b>							
A	0-5	10YR 3/4	-	1,14	33	24	57
AB	5-38	10YR 4/3	-	1,42	20	25	45
BA	38-60	10YR 4/4	-	1,39	22	25	47
Bt <sub>1</sub>	60-110	10YR 5/6	-	1,37	20	27	47
Bt <sub>2</sub>	110-155	7,5YR 5/6	-	1,22	19	34	53
Bt <sub>3</sub>	155-190	5YR 5/6	-	1,26	19	33	52

<sup>1</sup>densidade do solo; <sup>2</sup>volume total de poros

### 5.2.2 Argila dispersa em água (ADA) e grau de floculação (GF)

De modo geral, ambas as áreas apresentaram elevados valores de ADA (Tabela 3), evidenciando que parte da argila em condição de campo é, ou pode ser facilmente dispersa. Um dos fatores que parece ter contribuído para valores elevados de ADA na camada superficial foi o maior teor de carbono orgânico, devido à matéria orgânica constituir fontes de carga negativa, promovendo comportamento dispersante (ALLEONI & CAMARGO, 1994). Em segundo lugar, há relatos de dispersão de argila devido à ação de ânions orgânicos produzidos pela decomposição da matéria orgânica e por exsudados de raízes (OADES, 1984). Por outro lado, a matéria orgânica pode participar como agente agregante na floculação (METZNER et al., 2003).

Raij (1971) afirma que a argila é floculada quando o pH está em torno de 6,0. Ainda, o fator determinante para ocorrência de dispersão ou floculação da fração argila é a espessura da dupla camada difusa (SPERA et al., 2008). Cátions com alto grau de hidratação (íons  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Li}^+$  e outros) formam complexos de esfera externa e aumentam a distância entre as partículas, dispersando-as (MEURER, 2006). Ainda, a elevada presença de ADA pode ser consequência dos baixos teores do íon  $\text{Al}^{+3}$  (TEIXEIRA, 2001), no qual tem um grande poder de floculação por serem fortemente adsorvidos e retidos na dupla camada elétrica (JURY et al., 1991).

**Tabela 3.** Composição granulométrica de um Argissolo Amarelo com A antrópico e Argissolo Amarelo com A moderado na Estação Experimental do Caldeirão (Embrapa/CPAA), Iranduba – AM.

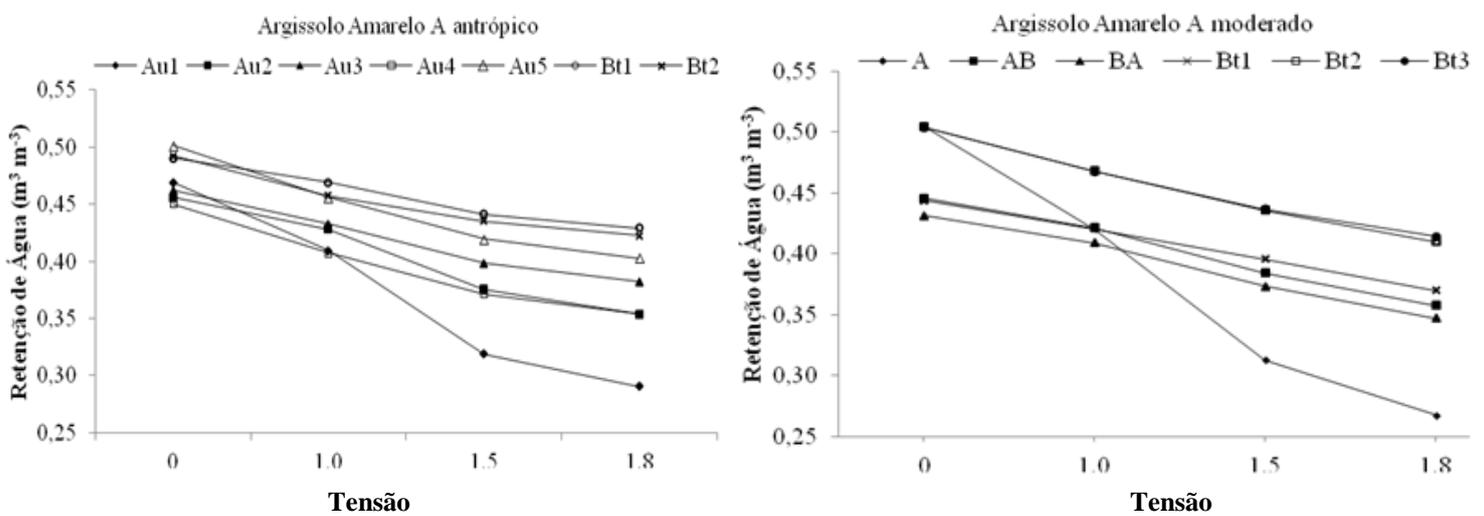
Prof. (cm)	AG <sup>(1)</sup>	AF <sup>(2)</sup>	Silte	Argila	ADA <sup>(3)</sup>	GF <sup>(4)</sup>	Classe Textural
	(2,00-0,20 mm)	(0,20-0,05mm)	(0,05-0,002 mm)	(< 0,002)		-----%-----	
g kg <sup>-1</sup>							
<b>Argissolo Amarelo A antrópico</b>							
0-20 (Au <sub>1</sub> )	355	202	168	275	146	47	Franco Argilo Arenosa
20-40 (Au <sub>1</sub> )	297	163	134	406	225	44	Argila
40-60 (Au <sub>2</sub> )	253	141	137	469	246	48	Argila
60-80 (Au <sub>2</sub> /Au <sub>3</sub> )	226	121	145	508	190	63	Argila
80-100 (Au <sub>3</sub> /Au <sub>4</sub> )	212	113	85	590	203	66	Argila
<b>Argissolo Amarelo A moderado</b>							
0-20 (A/AB)	367	200	145	288	71	75	Franco Argilo Arenosa
20-40 (AB)	306	188	144	362	166	54	Argila Arenosa
40-60 (BA)	285	188	113	415	221	47	Argila Arenosa
60-80 (Bt <sub>1</sub> )	260	184	95	462	90	81	Argila
80-100 (Bt <sub>1</sub> )	242	164	95	498	14	97	Argila

<sup>1</sup>Areia grossa; <sup>2</sup>areia fina; <sup>3</sup>argila dispersa em água; <sup>4</sup>grau de floculação

### 5.2.3 Retenção de Água

À exceção do horizonte Au<sub>5</sub>, foi observada maior retenção de água no ponto de saturação no horizonte A do Argissolo Amarelo A moderado (0,50 g cm<sup>-3</sup>), ao passo que

o horizonte AB apresentou teores iguais ao horizonte Au<sub>5</sub> e inferior aos demais horizontes antrópicos (Figura 5). No pF 1.5 e 1.8 todos os horizontes antrópicos passaram a apresentar maior retenção de água que o horizonte A moderado; no entanto, esses valores são considerados semelhantes aqueles quantificados nos horizontes de transição do Argissolo Amarelo A moderado. Esses resultados corroboram com os encontrados por Neves Junior (2008), no qual encontrou teores de água significativamente maiores na capacidade de campo nas camadas antrópicas em comparação ao solo adjacente.



**Figura 5.** Valores médios de retenção de água em diferentes tensões nos horizontes de perfil Argissolo Amarelo com A antrópico e Argissolo Amarelo com A moderado na Estação Experimental do Caldeirão (Embrapa/CPAA), Iranduba – AM.

Para Glaser (2003), a maior retenção de água bem como a resistência da matéria orgânica presentes nos solos de terra preta está associada a uma grande quantidade de carvões derivados da combustão incompleta de matéria orgânica. Observações realizadas por Hillel (1971) verificaram que a ação indireta da matéria orgânica sobre o teor de água do solo é mais pronunciado na faixa das baixas tensões.

Foi observado que nessas tensões o horizonte Au<sub>1</sub> apresentou retenção de água inferior em relação aos demais horizontes antrópicos, alcançando valores comparáveis aos observados no horizonte A moderado. De forma geral, independente da tensão aplicada os horizontes Bt<sub>1</sub> e Bt<sub>2</sub> do P01 e os horizontes Bt<sub>2</sub> e Bt<sub>3</sub> do P02, alcançaram maior retenção de água devido aos maiores teores de argila desses horizontes. Maior

retenção de água também foi verificada em horizontes subsuperficiais de solos antrópicos de várzea (MACEDO, 2009). Tal fato está relacionado com os maiores valores de microporosidade desses horizontes, tendo em vista os valores semelhantes de VTP e composição granulométrica (Tabela 2 e 3). Logo, verifica-se que provavelmente a retenção de água esta relacionada com os teores de argila, ou seja, atingindo menores teores nos horizontes superficiais e maior em subsuperfície.

Vale ressaltar que os horizontes BA e Bt<sub>1</sub> do Argissolo Amarelo A moderado apresentaram comportamento semelhante aos horizontes Au<sub>2</sub> e Au<sub>3</sub> do Argissolo Amarelo A antrópico respectivamente, nas tensões de 1,5 e 1,8 pF.

#### **5.2.4 Densidade do solo ( $\rho_s$ )**

No P01 a  $\rho_s$  nos horizontes antrópicos variaram de 1,18 a 1,31 Mg m<sup>-3</sup> (Tabela 2), sendo esses valores superiores ao horizonte A do P02. Segundo Kern (1988), é de se esperar maiores valores de densidade em locais onde ocorreu algum tipo de ocupação humana, exceto aqueles em que a matéria orgânica diminuiu o efeito do período de ocupação sobre a estrutura do solo. Estas observações diferem dos encontrados por Neves Junior (2008) e Kern & Kämpf (1989), no qual atribuíram os menores valores de densidade aos elevados teores de matéria orgânica dos horizontes antrópicos.

Entretanto, estes valores estão de acordo com os encontrados por Mendoza (2011) estudando solos antrópicos e adjacentes sob floresta secundária na Amazônia Central e por Teixeira et al. (2010b), o qual relatam que horizontes antrópicos das TPI's localizadas nas margens dos rios Tapajós e na localidade da Costa do Açutuba no município de Iranduba apresentaram elevados valores de densidade (valores superiores a 1,30 e 1,40 Mg m<sup>-3</sup>). Por último, Teixeira et al. (2010b) discutem que as TPI's apresentam valores de densidade do solo melhor correlacionada com a distribuição granulométrica das partículas do que com os teores de matéria orgânica.

Por sua vez, no P02 a  $\rho_s$  apresentou menores valores no horizonte A moderado (1,14 Mg m<sup>-3</sup>) e maiores valores nos horizontes AB e BA (1,42 e 1,39 Mg m<sup>-3</sup>), respectivamente. Embora não tenha atingido o valor encontrado no horizonte superficial, foi observada diminuição gradual desse parâmetro com o aumento da profundidade. Esses menores valores de  $\rho_s$  em superfície é devido principalmente a presença de maiores teores de C orgânico e ao maior VTP, tendo em vista a similaridade na composição granulométrica e estrutura com os horizontes de transição.

Quando se compara os valores de densidade dos horizontes AB e BA com os horizontes antrópicos na mesma profundidade ( $Au_1$  e  $Au_2$ ), observa-se que a atividade humana modificou a densidade desses horizontes, reduzindo-as para valores de  $1,29 \text{ Mg m}^{-3}$ .

### **5.2.5 Volume Total de Poros (VTP)**

O horizonte A do P02 apresentou os maiores valores de VTP de todos os horizontes estudados (57 %), sendo que nos horizontes antrópicos maiores valores foram registrados no horizonte  $Au_5$  (55 %) (Tabela 2).

Nos horizontes superficiais de ambos o perfis estudados, a porosidade total é composta em sua grande maioria por macroporos, o que contrasta com os demais horizontes, que apresentam sistema de poros constituídos principalmente por microporos, principalmente aqueles horizontes de origem pedogenética. No horizonte A do P02 e no horizonte  $Au_1$  do P01 a macroporosidade atingiu valores de 33 e 28 % respectivamente, sendo que com o aumento da profundidade foi observado redução nesses poros, com conseqüente aumento na quantidade de microporos.

Esses resultados corroboram com os resultados obtidos por Glaser et al. (2004) que encontraram valores de macroporos entre 18 a 32 % nos horizontes antrópicos das TPI; no entanto, os valores encontrados para o horizonte A moderado foi superior aos encontrados por esses autores (13 a 21% nos solos adjacentes).

## **5.3 Parâmetros Químicos**

Os valores de pH em água variaram de 5,21 a 5,41 no Argissolo Amarelo A antrópico (TPI) e 4,11 a 4,58 no Argissolo Amarelo A moderado (Tabela 4). De acordo com a classificação de Ribeiro et al. (1999), estes valores se encontram dentro da faixa considerada como acidez média para Argissolo Amarelo A antrópico e acidez muito elevada a elevada no Argissolo Amarelo A moderado. Os valores encontrados em ambas as áreas estudadas estão de acordo com os encontrados por Falcão et al. (2010) que estudaram dez sítios de TPI localizados próximos a cidade de Manaus e encontraram valores médios de pH em água de 5,68. Para os solos adjacentes, esses autores encontraram valores de pH em água em torno de 4,5.

O Argissolo Amarelo A antrópico apresentou os maiores teores de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  ( $3,84$  e  $0,94 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , respectivamente) no horizonte  $Au_1$  (0-20 cm). Vale ressaltar que os teores desses cátions diminuem em profundidade, alcançando valor mínimo de

1,33 para o  $\text{Ca}^{2+}$  e 0,22 para o  $\text{Mg}^{2+}$  nos horizontes  $\text{Au}_3/\text{Au}_4$  (80-100 cm). Tal fato também foi observado para os valores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  no Argissolo Amarelo A moderado, embora apresentando valores inferiores quando comparados ao Argissolo Amarelo A antrópico, sendo de  $0,04 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $0,11 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de  $\text{Mg}^{2+}$  nos horizontes A/AB (0-20 cm) e atingindo o valor mínimo de  $0,01 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e  $0,03 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  no horizonte  $\text{Bt}_1$  (80-100 cm) de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , respectivamente.

Vieira (1988) estudando Latossolos Amarelos distróficos da Amazônia encontrou valores na faixa de 0,40 a 0,35  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  de  $\text{Ca}^{2+}$  e 0,33 a 0,20  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  de  $\text{Mg}^{2+}$ , até a profundidade de 63 cm. Outros autores (SOMBROEK, 1966; FALESI, 1972b; KERN, et al., 2003) encontraram teores de  $\text{Ca}^{2+}$  acima de  $10,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  acima de  $3,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  em horizontes antrópicos de TPI's. Essas diferenças nos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  em áreas de TPI podem ser atribuídas ao uso agrícola intensivo anual, às perdas por erosão superficial, à localização (LIMA et al., 2002) e ao tamanho e período de ocupação das populações indígenas nas localidades (SJOBERG, 1976). Ainda, Lima et al. (2010) reporta que microfragmentos de apatita biogênica na forma de ossos e espinhas de peixe com morfologias variadas constituem a fonte primária de P e  $\text{Ca}^{2+}$  das TPI's.

Os valores de  $\text{Na}^+$  foram extremamente baixos no Argissolo Amarelo A antrópico, apresentando os valores de  $0,01 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm; no entanto, no Argissolo Amarelo A moderado a concentração deste elemento alcançou valores de  $0,06 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  na profundidade de 0-20 cm. Segundo Moreira et al. (2010) o  $\text{Na}^+$  tem grande variabilidade entre os sítios de TPI, sendo essa amplitude possivelmente ocasionada pela localização das áreas, hábito alimentar, tamanho e período da população pré-colombiana.

De acordo com Ribeiro et al. (1999), os teores de  $\text{K}^+$  estão dentro da faixa considerada baixa em ambas as áreas, o que está de acordo com as observações de Falcão et al. (2010). Os resultados desses autores mostram que as TPI apresentam teor médio de  $\text{K}^+$  trocável muito próximo do limite inferior da faixa considerada adequada, tanto para os solos do estado de São Paulo como também para os solos de Minas Gerais.

De acordo com Falcão et al. (2010) o baixo teor de  $\text{K}^+$  trocável, comparativamente aos altos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  trocáveis nas TPI's, tem provavelmente induzido a um desbalanço nutricional nas plantas cultivadas nas TPI's, afetando a absorção principalmente de  $\text{K}^+$ , pela inibição competitiva com  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ .

No Argissolo Amarelo A antrópico os valores de  $Al^{3+}$  em geral estão na faixa considerada baixa, variando de 0,11 a 0,38  $cmol_c dm^{-3}$ . Em contraste, o Argissolo Amarelo A moderado apresentou valores variando de 0,78 a 1,86  $cmol_c dm^{-3}$ . A acidez potencial (H+Al) diminui em profundidade em ambos os perfis, sendo verificado os maiores valores na profundidade de 0-20 cm (6,33 e 7,90  $cmol_c dm^{-3}$ ) no Argissolo Amarelo A antrópico e no Argissolo Amarelo A moderado respectivamente.

O Argissolo Amarelo A antrópico apresentou valores de CTC variando de 6 a 11  $cmol_c dm^{-3}$ , enquanto o Argissolo Amarelo A moderado apresentou valores entre 3 e 8  $cmol_c dm^{-3}$ . Zech et al. (1990), atribuem aos elevados valores de CTC às propriedades físico-químicas da matéria orgânica desses solos, que por sua vez, também auxiliam na retenção de água, tornando estes solos muito mais férteis que os demais, em virtude do processo de lixiviação ser menor que nas áreas adjacentes.

No Argissolo Amarelo A antrópico, foram encontrados os maiores percentuais de saturação por bases (V %) quando comparados ao Argissolo Amarelo A moderado, alcançando maiores valores em 20 cm (43 %). O que conseqüentemente resultou em baixa saturação por alumínio (m %) nessa área. Em contraste, a predominância de  $Al^{3+}$  no complexo de troca ocasionou baixa saturação por bases e elevada saturação por alumínio no Argissolo Amarelo A moderado. Apesar do exposto, não foi observado o caráter eutrófico no Argissolo Amarelo A antrópico como observado em outros estudos (LIMA, 2001; KÄMPF & KERN, 2005; FALCÃO et al., 2010), esta por sua vez é uma de suas características típicas. Tal fato se deve em decorrência da pequena concentração de  $Mg^{2+}$  e de  $Ca^{2+}$  no complexo de troca, esses cátions permaneceram abaixo dos valores médios de 9,4  $cmol_c kg^{-1}$  reportados em solos antrópicos (KÄMPF & KERN, 2005). Esses autores ressaltam ainda que as propriedades da TPI's podem variar dentro de cada sítio e entre sítios, dependendo do padrão da comunidade(s) pré-histórica(s) ocupante(s), no qual podem ser visualizadas por meio da amplitude dos valores máximos e mínimos das propriedades químicas.

Na área do Argissolo Amarelo A antrópico todas as profundidades apresentaram teores elevados de P disponível. A profundidade de 0-20 cm alcançou teores de 262  $mg dm^{-3}$ , que por sua vez diminui em profundidade alcançando o valor mínimo de 169  $mg dm^{-3}$ . O Argissolo Amarelo A moderado contrasta com esses resultados, apresentando valores mínimos em torno de 0,9 e máximo de 3,0  $mg dm^{-3}$ . Estudos de perfis de TPI na região de Belterra realizados por Sombroek (1966), demonstram elevados teores de P,

tanto na camada superficial quanto em subsuperfície. Ele observou também que os valores mais altos foram encontrados nas TPI's que apresentaram textura muito argilosa. Contudo, o menor valor de P para as TPI's mensurado por esse autor foi de  $100 \text{ mg kg}^{-1}$ , sendo este valor encontrado na amostra com textura franco-arenosa. Em adição, Lima et al. (2002) em estudos no município de Iranduba no estado do Amazonas encontrou teores de P alcançando até  $1.567 \text{ mg kg}^{-1}$  a 150 cm de profundidade.

O Argissolo Amarelo A moderado exibiu maiores valores de C orgânico nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm quando comparados ao Argissolo Amarelo A antrópico, que por sua vez apresentou maiores valores a partir de 60 cm. O maior teor desse elemento nesse solo se deve em decorrência da presença de um horizonte de constituição orgânica (horizonte O) espesso na área. Ambas as áreas apresentam maior enriquecimento em superfície, alcançando valores de  $19,5$  e  $17,5 \text{ g kg}^{-1}$  no Argissolo Amarelo A moderado e no Argissolo Amarelo A antrópico, respectivamente, devido a maior proximidade do local de acúmulo dos resíduos orgânicos. Apesar dos teores de C orgânico diminuir nas camadas mais profundas, o aumento no teor de argila estabiliza o carbono que existe em profundidade.

Em estudos em Argissolo Amarelo sob floresta primária na Reserva Biológica do Cueiras, Manaus/AM, Marques (2009) verificou que as maiores concentrações de C orgânico ocorreram no solo adjacente quando comparado ao solo antrópico em concomitância com aumento na macroporosidade e com aumento da densidade do solo nessas áreas, o que implica em uma possibilidade maior de acúmulo de carbono orgânico nos solos. Entretanto, tal fato não foi constatado no presente estudo.

Os valores de C orgânico quantificados para ambas as áreas foram inferiores aos encontrados por Neves Junior (2008), esse autor na mesma área de estudo quantificou  $26,10$  e  $41,80 \text{ g kg}^{-1}$  desse elemento em Argissolo com A moderado e em Argissolo com A antrópico. Por outro lado, maior concentração de C no solo adjacente em relação ao solo antrópico também foi observado por Rodrigues (1991) e por Mendoza (2011). Esse último creditou tal fato a maior participação de areia na composição granulométrica das TPI's, no qual possuem menor superfície específica, e conseqüentemente menor quantidade de cargas elétricas capazes de adsorver carbono, o que acarreta menor capacidade de adsorção desse elemento.

Teores elevados de C orgânico, em relação aos solos adjacentes, têm sido considerados um dos atributos típicos das TPI's, podendo ser utilizados para diferenciá-

las dos solos adjacentes (PABST, 1991; LIMA, 2001; KÄMPF & KERN, 2005), estes são atribuídos ao acúmulo de material orgânico (KERN & KÄMPF, 1989) e principalmente, aos resíduos de queimadas (SMITH, 1980).

**Tabela 4.** Características químicas de áreas com Argissolo Amarelo com A antrópico e Argissolo Amarelo com A moderado da Estação Experimental do Caldeirão (Embrapa/CPAA), Iranduba – AM.

Prof. (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	P mg dm <sup>-3</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	t <sup>(1)</sup>	T <sup>(2)</sup>	V <sup>(3)</sup> ----%----	m <sup>(4)</sup>	C g kg <sup>-1</sup>
<b>Argissolo Amarelo A antrópico</b>														
0-20	5,41	262	0,05	0,01	3,84	0,94	0,11	6,33	4,84	4,95	11	43	3	17,55
20-40	5,36	177	0,02	0,01	2,08	0,50	0,33	6,09	2,61	2,94	9	30	12	6,86
40-60	5,31	169	0,02	0,00	1,64	0,35	0,32	5,27	2,01	2,33	7	28	14	3,65
60-80	5,25	190	0,01	0,00	1,44	0,27	0,38	5,41	1,73	2,11	7	25	15	4,03
80-100	5,21	196	0,02	0,00	1,33	0,22	0,33	4,77	1,57	1,90	6	26	14	3,09
<b>Argissolo Amarelo A moderado</b>														
0-20	4,11	3	0,07	0,06	0,04	0,11	1,86	7,90	0,27	2,13	8	3	86	19,51
20-40	4,12	1,5	0,02	0,02	0,01	0,05	1,25	4,80	0,09	1,35	5	2	93	8,42
40-60	4,32	1,3	0,01	0,01	0,02	0,04	1,12	4,66	0,09	1,21	5	2	93	6,00
60-80	4,46	1,1	0,01	0,01	0,01	0,03	0,91	3,35	0,05	0,96	3	2	94	1,99
80-100	4,58	0,9	0,01	0,00	0,01	0,03	0,78	2,48	0,05	0,82	3	2	94	2,00

<sup>(1)</sup> CTC efetiva; <sup>(2)</sup> CTC pH 7,0; <sup>(3)</sup> Saturação por bases; <sup>(4)</sup> Saturação por alumínio

O Argissolo Amarelo A antrópico apresentou elevados valores de Zn<sup>2+</sup>, variando de 9,72 mg dm<sup>-3</sup> (na profundidade de 0-20 cm) a 2,78 mg dm<sup>-3</sup> (80-100 cm), enquanto o Argissolo Amarelo A moderado apresentou valores variando de 0,3 a 1,3 mg dm<sup>-3</sup> (Tabela 5). Tais valores são classificados como muito baixo a médio segundo (RIBEIRO, et al., 1999).

Os teores de Mn<sup>2+</sup> no Argissolo Amarelo A antrópico foram elevados na profundidade de 0-20 cm (49,71 mg dm<sup>-3</sup>), atingindo o mínimo de 5,72 mg dm<sup>-3</sup> na camada de 80-100 cm, enquanto que o valor máximo encontrado para o Argissolo Amarelo A moderado foi 1,2 de mg dm<sup>-3</sup> (Tabela 4). Kern et al. (1999) discutem que uma importante fonte de Zn<sup>2+</sup> e Mn<sup>2+</sup> nas TPI's se deve as folhas de palmeiras que eram utilizadas na cobertura de habitações e periodicamente renovadas.

Assim como o Zn<sup>2+</sup> e o Mn<sup>2+</sup>, o Cu<sup>2+</sup> apresentou maiores valores no Argissolo Amarelo A antrópico, quando comparado ao Argissolo Amarelo A moderado (Tabela 4). Falcão et al. (2010) relatam que os solos antrópicos apresentam baixos valores de boro (B), Cu<sup>2+</sup> e Fe<sup>2+</sup>, e altos de Mn<sup>2+</sup> e Zn<sup>2+</sup> disponível. Os teores de Fe encontrados no Argissolo Amarelo A moderado foram elevados, chegando a 406 mg dm<sup>-3</sup>.

**Tabela 5.** Micronutrientes do solo da área com Argissolo Amarelo com A antrópico e Argissolo Amarelo com A moderado da Estação Experimental do Caldeirão (Embrapa/CPAA), Iranduba – AM.

Prof. (cm)	Fe <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup>
	-----mg dm <sup>-3</sup> -----			
<b>Argissolo Amarelo A antrópico</b>				
0-20	34	9,72	49,71	1,66
20-40	32	6,71	16,24	2,25
40-60	31	4,44	11,81	1,70
60-80	30	3,56	7,29	1,45
80-100	27	2,78	5,72	1,22
<b>Argissolo Amarelo A moderado</b>				
0-20	406	0,6	1,2	0,2
20-40	291	0,3	0,8	0,1
40-60	234	0,8	0,7	0,1
60-80	99	0,8	0,3	0,1
80-100	38	1,3	0,2	0,1

#### 5.4 Mineralogia

Os difratogramas das profundidades de 0-20 e 80-100 cm, no qual correspondem respectivamente aos horizontes Au<sub>1</sub> e Au<sub>3</sub>/Au<sub>4</sub> do Argissolo Amarelo A antrópico e aos horizontes A/AB e Bt<sub>1</sub> do Argissolo Amarelo A moderado, apresentaram predominância de caulinita, identificada principalmente pelos valores de espaçamento interplanares iguais a 0,72, 0,36 e 0,25 nm, no qual correspondem as reflexões nos planos (001), (002) e (003), respectivamente, e conseqüente colapso quando aquecidos à temperatura de 500 °C. Os dois primeiros espaçamentos interplanares indicam partículas de caulinita de grande tamanho e maior grau de cristalinidade, inferida por meio da pequena largura do pico nessas reflexões (Figura 6).

A natureza caulinitica desses solos era esperada em decorrência dessas áreas serem desenvolvidas sob condições tropicais úmidas, onde normalmente a caulinita é o principal mineral da fração argila, sua formação é favorecida por condições de intenso intemperismo químico e lixiviação de cátions de caráter básico (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup>) e sílica. Esses encontrados não diferem da mineralogia encontrada por Couceiro & Santana (1999) para um Latossolo Amarelo próximo ao município de Presidente Figueiredo – AM e por Campos et al. (2011), Silva et al. (2011), Macedo (2009) e Lima et al. (2006).

Essa assembléia mineralógica imprimiu principalmente no Argissolo Amarelo A moderado, características de solos ácidos, pobres em nutrientes, com teores relativamente elevados de alumínio trocável e baixos valores de soma de bases e de capacidade de troca de cátions, assim como observado em outros estudos de solos na região amazônica (FALESI, 1986; VIEIRA & SANTOS, 1987; RODRIGUES, 1996).

Não foram observadas diferenças na quantidade de caulinita entre as diferentes profundidades estudadas. Entretanto, Lucas et al. (1993) e Cornu et al. (1998) observaram maior proporção de caulinita na camada superficial de solos da floresta Amazônica. Estes autores mostraram que a floresta cicla quantidade significativa de Si, favorecendo a estabilidade da caulinita nos horizontes superficiais. Ainda, segundo Horbe & Costa (1997), essa mineralogia se repete na grande maioria dos solos bem drenados da região amazônica brasileira, sendo reflexo da pobreza do material de origem, das boas condições de drenagem e do maior tempo de exposição dos sedimentos aos agentes bioclimáticos.

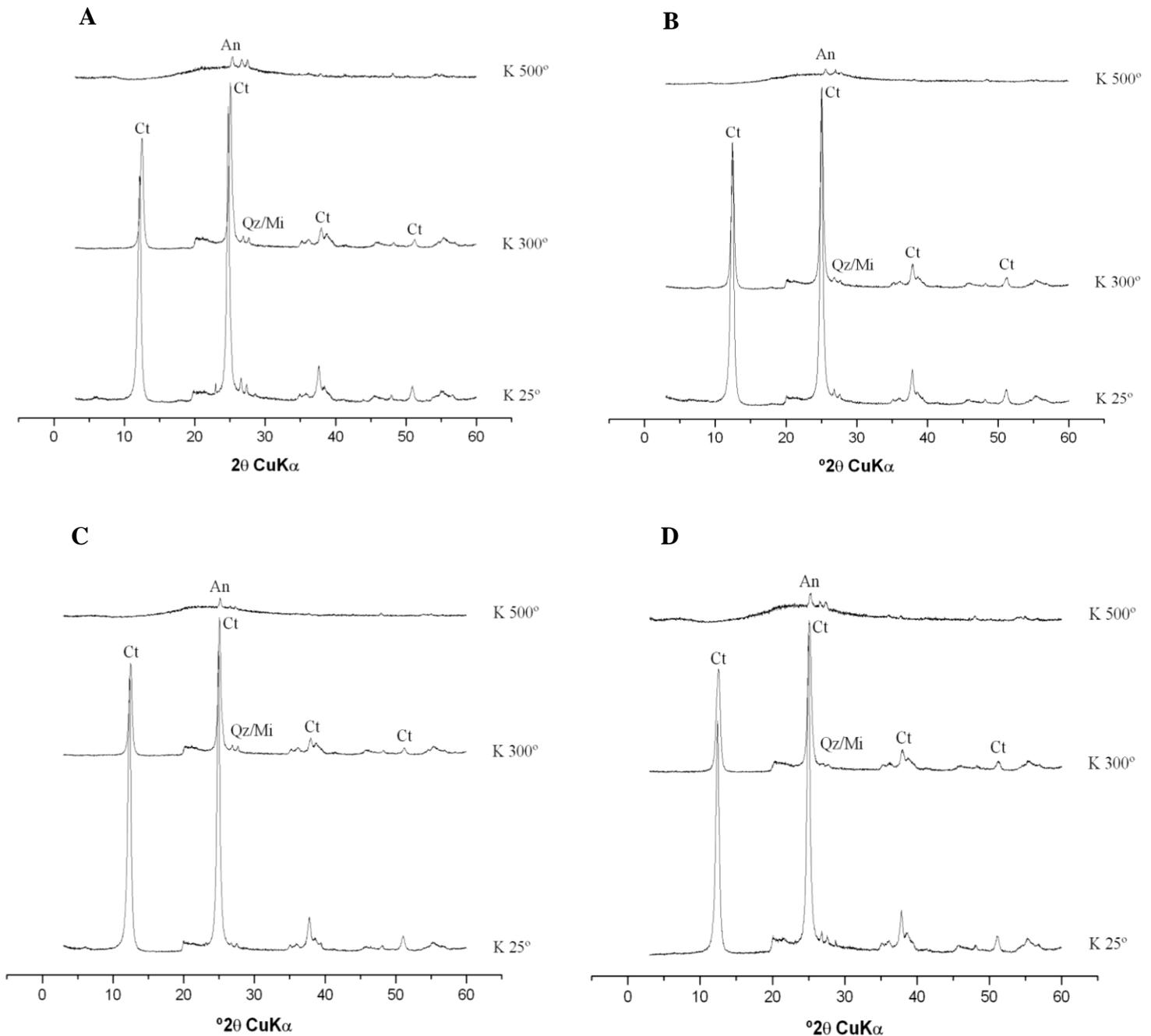
Apesar de mais expressiva no horizonte A<sub>u1</sub> (20 cm), a mica foi identificada em todas as profundidades de ambas as áreas pelo pico na região de 0,33 nm, o qual não se alterou nos tratamentos com K<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> com aquecimento a 500°C.

Resende et al. (2005) enfatizam que as micas presentes na fração argila dos solos normalmente sofreram perda parcial de potássio da sua estrutura, diferindo assim das micas presentes no material de origem, por apresentarem déficit de cargas positivas e, portanto, capacidade de troca de cátions variando de 20 a 40 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, no qual são denominadas por alguns autores de *ilita*.

Em adição, por meio da identificação de mica em fragmentos cerâmicos de solos de TPI, Lima et al. (2002) sugeriu que a argila empregada na produção da cerâmica estudada foi provavelmente proveniente da várzea, uma vez que micas ocorrem em níveis muito reduzidos ou estão ausentes nos solos bem drenados da Amazônia. Costa et al. (2010) verificou que a mica nos sítios de TPI, muscovita encontrada em grande quantidade em granitos, esteve sempre associada a superfície externa das cerâmicas, indicando uma localização intencional, provavelmente como isolante e até mesmo decoração.

O anatásio foi identificado em todas as profundidades estudadas pelo reflexo de 0,35 nm após aquecimento a 500° C, no qual eliminou a interferência da caulinita. A presença desse óxido de Ti secundário indica a elevada taxa de intemperismo químico

sofrida pelos solos estudados, tendo em vista que a presença desse elemento em solos é creditada ao acúmulo residual de herança do material de origem, ou formado pelo intemperismo portadores de Ti (autigênicos). Esse mineral foi identificado na fração argila (SILVA et al., 2011) e na fração silte (CAMPOS et al., 2011) de solos antrópicos, bem como em fragmentos cerâmicos (COSTA et al., 2010).



**Figura 6.** Difratomogramas da fração argila de Argissolo Amarelo com A antrópico: A) 0-20 cm ( $Au_1$ ) e B) 80-100 cm ( $Au_3/Au_4$ ); C) Argissolo Amarelo com A moderado: 0-20 cm ( $A/AB$ ) e D) 80-100 cm ( $Bt_1$ ) da Estação Experimental do Caldeirão (Embrapa/CPAA), Irlanduba – AM.

## **5.5 Solução do solo**

### **5.5.1 pH**

A variação temporal do pH na solução do solo nas três profundidades de ambas as áreas estudadas são apresentadas na Figura 7. Inicialmente, o maior valor de pH no Argissolo Amarelo A antrópico foi observado na camada de 50 cm (6,04), seguido das profundidades de 20 (5,96) e 100 cm (5,66). No dia 22/02 foi observado aumento nos valores de pH em todas as profundidades investigadas, no qual foi mais expressivo na profundidade de 50 cm, alcançando valor de 6,71. Entretanto, no dia 22/03 foi observado comportamento inverso com os valores de pH, decrescendo em todas as profundidades. Um dos fatores que contribuem para diminuição de pH em tais áreas foi à intensa precipitação nesse mês (327,4 mm) no qual propicia remoção/lixiviação de bases no sistema. Moraes (1991) também verificou a diminuição do pH da solução do solo, no qual creditou a produção de ácidos orgânicos, nítrico e sulfúrico, provenientes da decomposição da matéria orgânica e da lixiviação das bases trocáveis com água das chuvas.

Do dia 22/03 até o dia 12/04 houve aumento gradual nos valores de pH nas profundidades de 20 e 100 cm no Argissolo Amarelo A antrópico, alcançando valores de 6,11 e 6,18, respectivamente (Figura 7). Ainda, nessa mesma área, no dia 12/04 também foi observado aumento expressivo no pH na profundidade de 50 cm, no qual sofreu aumento em comparação com a coleta anterior (dia 05/04).

Do dia 12/04 até o dia 07/06 o pH no Argissolo Amarelo A antrópico, apresentou comportamento semelhante em todas as camadas estudadas, podendo ser discutido em dois momentos distintos, a saber: i) sensível aumento no dia 17/05 e aumento expressivo no dia 07/06 e; ii) decréscimos nos valores de pH nos dias 10/05 e 31/05.

Para o Argissolo Amarelo A moderado, na profundidade de 20 cm houve apenas uma coleta durante todo o período de amostragem, no qual foi analisado apenas o pH e a condutividade elétrica, não sendo possível fracionamento da amostra para análise de cátions em solução. Tal fato se deu devido à área do experimento apresentar uma camada de serrapilheira e/ou liteira mais espessa (correspondente a um horizonte O), seguido de um horizonte com material mais decomposto e finalmente o solo. Como a cápsula foi instalada na profundidade de 20 cm, 75 % da mesma estava em contato com

material orgânico e não propriamente material mineral. Como consequência, a extração de solução em dada camada pela cápsula extratora foi impedida, uma vez que a macroporosidade nesta se dá em maior quantidade.

Conforme observado no Argissolo Amarelo A antrópico, o pH na profundidade de 50 cm no Argissolo Amarelo A moderado apresentou valores expressivos no dia 22/02 (6,73), tal fato ocorreu dentro de um período chuvoso (308,6 mm) o que propiciou um aumento do pH e concomitantemente incremento de cátions  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  (Figura 8). De modo geral e à exceção dos dias 15/02 e 05/04, os valores de pH nessa área foram menores que aqueles encontrados no Argissolo Amarelo A antrópico.

Esse comportamento também foi observado em 100 cm, no qual apresentou valores de 6,17 e 5,82 nos dias 15/02 e 05/04, respectivamente. De forma geral, a profundidade de 100 cm apresentou maiores valores de pH do que a profundidade de 50 cm. No entanto, esses valores contrastam com aqueles registrados nessa profundidade no Argissolo Amarelo A antrópico por apresentar comportamento decrescente até o final do período estudado, onde naquela, os maiores valores encontrados foram registrados no último dia de coleta. Segundo Alexander (1977) a diminuição do pH da solução se deve a elevada concentração de  $\text{H}^+$  no meio pelo aumento da decomposição da matéria orgânica, advinda da atividade microbiana com o início do período chuvoso após um período de seca.

### **5.5.2 Condutividade elétrica (CE)**

Os maiores valores iniciais de CE no Argissolo Amarelo A antrópico foram observados na camada de 20 cm ( $68,93 \mu \text{ S cm}^{-1}$ ) (Figura 7). No dia 22/02 foi observado que a CE na camada de 20 e 100 cm decresceu, ao passo que foram observados os maiores valores em todo o período estudado na camada de 50 cm ( $76,98 \mu \text{ S cm}^{-1}$ ), fato esse ocorrido em concomitância com os elevados valores de pH da solução (6,71). Assim como observado por Rhoades (1993), o fator textura pode ter influenciado na condutividade, contribuindo para maiores valores nas áreas de textura argilosa.

No dia 22/03 ocorreu o primeiro aumento na CE na camada de 20 cm, alcançando valores de  $45,22 \mu \text{ S cm}^{-1}$ . Nessa data, a CE decresceu de forma abrupta em 50 cm, atingindo valores da ordem de  $28,08 \mu \text{ S cm}^{-1}$ , seguido de um período de

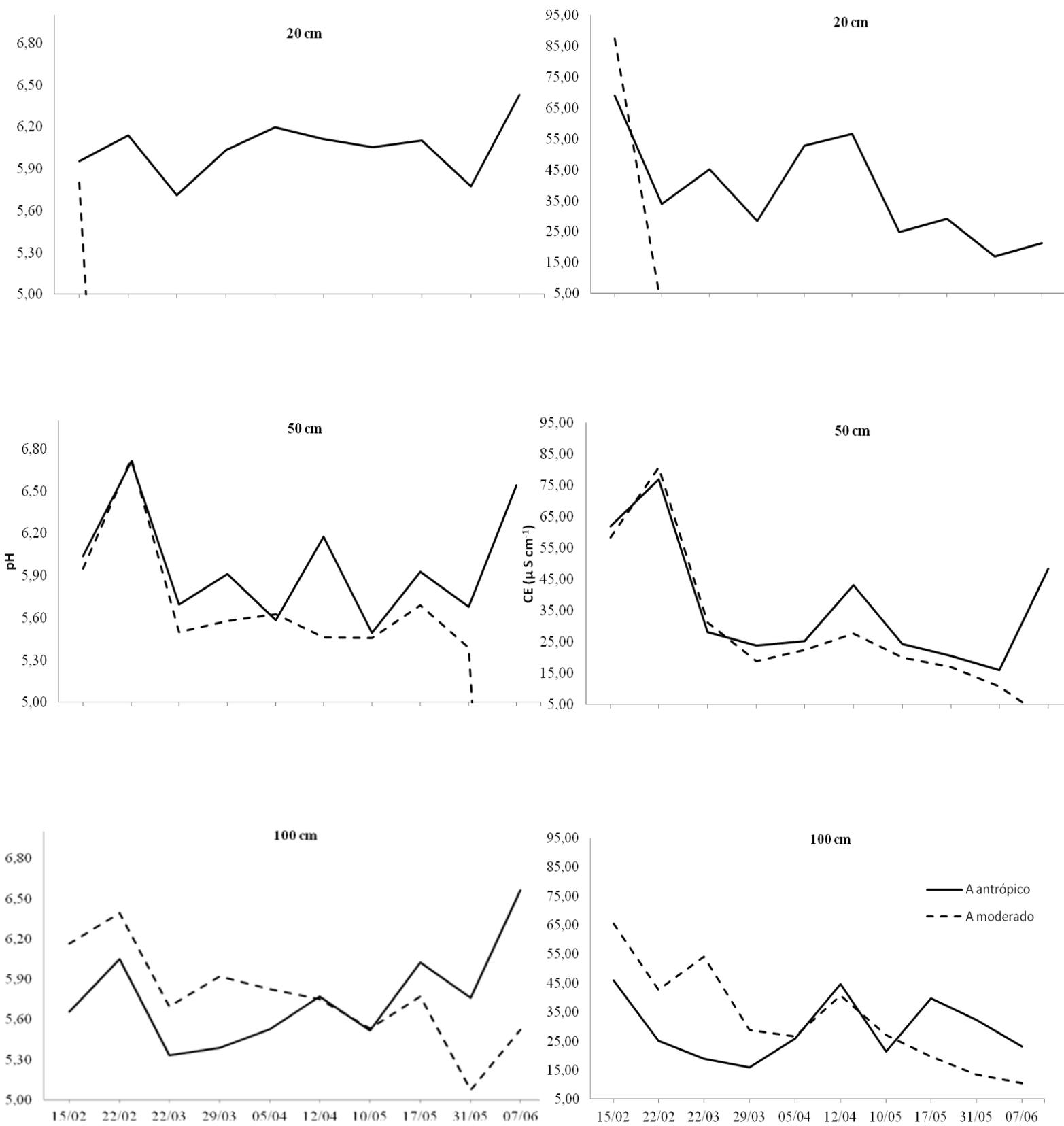
estabilidade que se prolongou até o dia 05/04. Segundo Ben Hur et al., (2001) tal diminuição na CE deve-se ao fato de intensa precipitação, pois a mesma assegura a “lavagem” dos sais acumulados no sistema. Diferentemente, a profundidade de 100 cm que até então tinha comportamento homogêneo e apresentava os menores valores de CE dentre as camadas estudadas, passa a oscilar no período estudado, atingindo valores de 44,78 e 39,80  $\mu S cm^{-1}$  nos dias 12/04 e 17/05, respectivamente, sendo esse comportamento acompanhado de aumentos nos valores de pH.

Comportamento semelhante foi observado para a CE na camada de 20 cm nos mesmos dias, alcançando elevados valores no dia 12/04 (56,66  $\mu S cm^{-1}$ ) e um pequeno aumento no dia (24,78  $\mu S cm^{-1}$ ), após um período de acentuado declínio. Em relação a camada de 50 cm, a CE aumentou no dia 12/04 (43,15  $\mu S cm^{-1}$ ), assim como observado para as demais profundidades. Entretanto, até o dia 31/05 a CE nessa camada diminuiu 8,00  $\mu S cm^{-1}$ , do qual voltou a aumentar no dia 07/06, alcançando o terceiro maior valor no período estudado (48,32  $\mu S cm^{-1}$ ).

No Argissolo Amarelo A moderado a CE na camada de 50 cm apresentou comportamento semelhante ao observado no Argissolo Amarelo A antrópico. Logo, foram observados máximos valores no dia 22/02 (80,73  $\mu S cm^{-1}$ ), onde mais uma vez observa-se a propriedade da argila de reter mais água e também de conduzir mais eletricidade que areia ou silte. Após um período de intenso declínio, no dia 12/04 houve um pequeno aumento (27,57  $\mu S cm^{-1}$ ) (Figura 7).

Por outro lado, a CE na profundidade de 100 cm até o dia 12/04 foi semelhante ao observado para a camada de 20 cm do Argissolo Amarelo A antrópico, onde foram observados valores mais elevados nos dias 22/03 e 12/04 (54,20 e 40,81  $\mu S cm^{-1}$ , respectivamente) e decréscimos na CE nos dias 29/03 e 10/05 (28,86 e 27,21  $\mu S cm^{-1}$ , respectivamente).

Assim como observado no Argissolo Amarelo A antrópico, a partir do dia 12/04 foi observado que os valores de CE nas camadas estudadas diminuem gradualmente até o final do período estudado, atingindo mínimos valores de 10,77  $\mu S cm^{-1}$  no dia 31/05 na profundidade de 50 cm e de 10,62  $\mu S cm^{-1}$  no dia 07/06 na profundidade de 100 cm. Esse declínio ocorreu em meio ácido, conforme observado pelos baixos valores de pH nesse período e em concomitância aos intensos eventos pluviométricos (Tabela 1).



**Figura 7.** Valores médios de pH e CE de áreas com Argissolo Amarelo com A antrópico e Argissolo Amarelo com A moderado da Estação Experimental do Caldeirão (Embrapa/CPAA), Irlanduba – AM.

### 5.5.3 Cátions na solução do solo

O resultado da estatística descritiva das variáveis  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  pode ser observado na Tabela 6. A dinâmica do  $\text{Ca}^{2+}$  na solução do Argissolo Amarelo A antrópico e do Argissolo Amarelo A moderado no período estudado são apresentadas na Figura 8. De forma geral, a concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  foi maior na profundidade de 50 cm no Argissolo Amarelo A antrópico e maior na profundidade de 100 cm no Argissolo Amarelo A moderado. Mendoza (2011) observou uma tendência do  $\text{Ca}^{2+}$  estar mobilizado em maior concentração na solução de TPI e Terra Mulata da região do Encontro das Águas no estado do Amazonas. Em contraste, Neu (2005) verificou que o  $\text{Ca}^{2+}$  na solução do solo apresentou concentrações extremamente baixas em todos os ecossistemas estudados (floresta primária, reflorestamento e área degradada) nos municípios de Manaus e Presidente Figueiredo.

Os resultados da coleta do dia 15/02, mostram a maior concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  na profundidade de 50 cm ( $5,22 \text{ mg L}^{-1}$ ). No dia 22/02, a concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  em 50 cm alcançou o segundo maior valor durante o período estudado ( $6,77 \text{ mg L}^{-1}$ ), seguido de um pequeno acréscimo em sua concentração na profundidade de 20 cm e ligeiro decréscimo na profundidade de 100 cm. Quanto ao Argissolo Amarelo A moderado, foi observado que nesse período houve aumento na concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  da ordem de  $7,31 \text{ mg L}^{-1}$  na profundidade de 50 cm e pequeno aumento na profundidade de 100 cm (Figura 10).

Segundo Brinkmann & Nascimento (1973) as principais fontes de  $\text{Ca}^{2+}$  solúvel em áreas de floresta na região de Manaus, se originam de minerais e decomposição da matéria orgânica. Ainda, esse considerável aumento pode ser resultante da rápida mineralização da matéria orgânica, pois a sua decomposição é acelerada na época chuvosa (LUIZÃO & SCHUBART, 1987), tendo em vista que o solo apresenta baixíssimos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  ligado à fração sólida trocável do solo (máximo de  $0,04 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  - Tabela 4), ausência de minerais facilmente intemperizáveis com  $\text{Ca}^{2+}$  estrutural, bem como, ser pouco provável que no intervalo de uma semana esse elemento tenha sido liberado de óxidos. Entretanto, deve-se considerar a hipótese de dessorção do  $\text{Ca}^{2+}$  dos sítios de trocas por outros íons da solução do solo.

Decorrido exato um mês, no dia 22/03 a concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  alcançou o valor de  $5,31 \text{ mg L}^{-1}$  em 20 cm no Argissolo Amarelo com A antrópico, no qual corresponde a

quase o dobro da concentração encontrada na mesma profundidade na coleta anterior, o que pode ser creditado ao *input* desse elemento na solução do solo via mineralização de material orgânico ou por liberação dos sítios de adsorção da matéria orgânica e, em pequena parte das argilas, predominantemente cauliníticas. Por outro lado, foi observado a perda de  $1 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{Ca}^{2+}$  na profundidade de 50 cm e um pequeno aumento na profundidade de 100 cm.

Nesse mesmo período, também foi observado redução da concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  na profundidade de 50 cm do Argissolo Amarelo A moderado, no qual atingiu a concentração de  $3,32 \text{ mg L}^{-1}$ , ou seja, perdas de  $6,56 \text{ mg L}^{-1}$ , aproximando-se dos teores iniciais desse elemento no início do monitoramento. Tal decréscimo pode ser provavelmente explicado pela precipitação de 326 mm nesse período no qual promoveu a lixiviação de parte desse elemento por formação de compostos solúveis e transporte pela água de percolação e/ou saída da solução do solo por adsorção aos sítios de troca dos colóides do solo. Vale ressaltar que esse comportamento também foi observado na profundidade de 50 cm no Argissolo Amarelo A antrópico.

Na semana seguinte (29/03), a concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  no Argissolo Amarelo A Antrópico na profundidade de 50 cm continuou a diminuir ( $2,33 \text{ mg L}^{-1}$ ), sendo agora acompanhado de um decréscimo de  $1,6 \text{ mg L}^{-1}$  na concentração desse elemento em 20 cm e aumento na profundidade de 100 cm. Tal fato evidencia que pequena parte desse elemento acumulada na profundidade de 100 cm ( $0,04 \text{ mg L}^{-1}$ ) é em decorrência de perdas das camadas superiores. Em vista disso, esse período foi denominado de primeira lixiviação no presente estudo.

No dia 05/04 foi observado um segundo *input* de  $\text{Ca}^{2+}$  no Argissolo Amarelo A antrópico, no qual aumentou a concentração desse elemento na camada de 20 cm, atingindo a maior concentração desse elemento no período estudado ( $6,56 \text{ mg L}^{-1}$ ). No dia 12/04 na profundidade de 20 cm esse valor foi reduzido para  $4,37 \text{ mg L}^{-1}$ , sendo os valores a 50 cm de  $0,69 \text{ mg L}^{-1}$  e em 100 cm de  $1,86 \text{ mg L}^{-1}$ . Nesse mesmo dia, também foi verificada diminuição de  $\text{Ca}^{2+}$  na profundidade de 50 cm (essa diminuição começou a ocorrer a partir da segunda coleta) e pequeno aumento na concentração desse elemento na profundidade de 100 cm no Argissolo Amarelo A moderado. Tal evidência demonstra que o processo de lixiviação e conseqüente acúmulo desse elemento na profundidade de 100 cm no intervalo de uma semana foi o processo predominante na dinâmica desse elemento na solução dessas camadas antrópicas. Em vista disso, esse

período foi denominado de segunda lixiviação no presente estudo. Vale ressaltar que nesse período tais perdas por lixiviação da solução do solo foram verificadas somente para esse elemento.

Ao considerarmos a precipitação total entre os dias 22/02 a 29/03 no qual está inserida a primeira lixiviação (369 mm) em comparação a precipitação total entre os dias 12/04 e 17/05 no qual está inserida a segunda lixiviação (388 mm), pode-se verificar que naquela primeira, os maiores déficits na concentração desse elemento nas camadas antrópicas foi em 50 cm ( $3,33 \text{ mg L}^{-1}$ ), em decorrência da maior concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  nessa profundidade naquela época, enquanto que na segunda a maior diminuição foi computada na camada de 20 cm ( $1,84 \text{ mg L}^{-1}$ ). De forma semelhante, no Argissolo Amarelo A moderado também foi observado diminuição na concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  naquele primeiro evento, sendo que nessa área a diminuição foi muito maior ( $8,21 \text{ mg L}^{-1}$ ).

Logo, verifica-se que precipitações semelhantes em igual intervalo de ocorrência, promovem taxas de lixiviação bastante distintas, sendo mais severo durante o final do mês de fevereiro e final do mês de março no presente estudo, provavelmente em decorrência de diferenças na intensidade da chuva e outros fatores que influenciaram a mineralização da matéria orgânica (temperatura, disponibilidade de carbono, etc.).

Na coleta do dia 10/05 a diminuição na concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  foi mais intensa na profundidade de 100 cm do Argissolo Amarelo A antrópico, com decréscimo de  $0,94 \text{ mg L}^{-1}$ , enquanto as demais camadas sofreram pequenas perdas. Por outro lado, nesse dia o  $\text{Ca}^{2+}$  aumenta no Argissolo Amarelo A moderado até atingir a concentração de  $3,18 \text{ mg L}^{-1}$  em 50 cm, provavelmente devido a precipitação de 368 mm ocorrida no período de um mês ter removido  $\text{Ca}^{2+}$  da floresta e o incorporado na profundidade de 50 cm, demonstrando a elevada dependência desse elemento do *input* mineral da ciclagem da floresta. De acordo com Campo et al. (2000), cerca de 99 % do  $\text{Ca}^{2+}$  estocado na biomassa acima do solo retorna via reciclagem de serrapilheira que ocorre principalmente durante a estação úmida. Segundo Luizão (1989), essa entrada equivale a  $37 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{Ca}^{2+}$  (LUIZÃO, 1989).

No dia 17/05 foi observado déficit de  $\text{Ca}^{2+}$  em solução para as camadas de 20 ( $1,71 \text{ mg L}^{-1}$ ) e 50 cm ( $0,88 \text{ mg L}^{-1}$ ) nas camadas antrópicas. Tais déficits resultaram em acúmulo deste elemento na profundidade de 100 cm, onde foi registrado a concentração de  $5,66 \text{ mg L}^{-1}$ . Nesse período a precipitação alcançou valores de 24,5 mm, onde apenas

um dia (metade do período) foi responsável por 18,2 mm. Logo, tal precipitação foi suficiente para retirar parte do  $\text{Ca}^{2+}$  da solução na profundidade de 20 cm, mas insuficiente para retirá-lo do sistema, acarretando um acúmulo desse elemento na camada de 100 cm. Em vista disso, esse período foi denominado de terceira lixiviação no presente estudo.

Do dia 17 ao dia 31/05 foi observado um incremento de  $3,46 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{Ca}^{2+}$  na camada de 50 cm e um pequeno decréscimo desse elemento nas demais profundidades das camadas antrópicas. Isso demonstra a entrada de  $\text{Ca}^{2+}$  no sistema com pouca permanência na solução na profundidade de 20 cm ou liberação desse elemento dos sítios de troca da matéria orgânica e/ou mineralização desse material nessa profundidade. Ainda, nos valores de pH observado nessa época, os óxidos de ferro poderiam apresentar cargas negativas em sua superfície, o que também promoveria a retenção desse elemento por adsorção. Com o decorrer da coleta, no dia 07/06 esse *input* continuou a ocorrer na profundidade de 50 cm, no qual registrou os maiores teores entre todas as profundidades e dias estudados ( $7,55 \text{ mg L}^{-1}$ ). Na profundidade de 20 cm a concentração desse elemento também aumentou de forma significativa, apresentando teores de  $\text{Ca}^{2+}$  quase duas vezes maiores que a coleta anterior.

Do dia 10/05 até o final do período estudado, a concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  na profundidade de 100 cm no Argissolo Amarelo A moderado decresceu  $3,8 \text{ mg L}^{-1}$ . De forma contrária ao que ocorreu no Argissolo Amarelo A antrópico, houve pouco aporte de minerais na solução nessa profundidade oriundas das camadas subjacentes, por rápida passagem dos mesmos na água de infiltração e/ou condições pouco favoráveis para a manutenção deles na solução dessa camada.

De forma geral, a concentração de  $\text{Mg}^{2+}$  na solução do Argissolo Amarelo A moderado apresentou concentrações menores quando comparados aos teores desse elemento no Argissolo Amarelo A antrópico, o que corrobora com as baixas concentrações desse elemento na fase sólida do solo (Tabela 4). Neu (2005) verificou que o  $\text{Mg}^{2+}$  na solução do solo apresentou concentrações extremamente baixas em todos os ecossistemas estudados, onde apresentou correlação estatisticamente significativa com o tipo de cobertura vegetal e com a textura do solo, sendo fortemente retidos na matriz de solos argilosos e facilmente liberados para a solução nos arenosos.

Foi observada maior concentração de  $\text{Mg}^{2+}$  na profundidade de 50 cm no Argissolo Amarelo A moderado no dia 22/02, alcançando valores de  $0,31 \text{ mg L}^{-1}$ ,

seguido de um declínio acentuado que atingiu valores abaixo do limite de detecção do método no dia 05/04.

Diferentemente do  $\text{Ca}^{2+}$ , nos horizontes antrópicos foram observadas as maiores concentrações iniciais de  $\text{Mg}^{2+}$  em 20 cm ( $0,47 \text{ mg L}^{-1}$ ), no qual apresentou aumento constante até o dia 22/03, comportamento esse também observado para a profundidade de 50 cm. Ainda, nessa data foram registradas concentrações quantificáveis de  $\text{Mg}^{2+}$  na profundidade de 100 cm, onde até então a mesma tinha apresentado concentrações abaixo do limite de detecção do método. Dessa forma, pode-se inferir que nessa data ocorreu o primeiro *input* de  $\text{Mg}^{2+}$  no sistema, afetando todas as profundidades estudadas, com aumento de 0,04, 0,12 e 0,13  $\text{mg L}^{-1}$  nas profundidades de 20, 50 e 100 cm, respectivamente. Esses registros corroboram com as entradas de  $\text{Ca}^{2+}$  nessa área, inferido pelo aumento desse elemento na profundidade de 20 cm.

Assim como observado para o  $\text{Ca}^{2+}$ , entre os dias 22 e 29/03 há um decréscimo na concentração de  $\text{Mg}^{2+}$  nas profundidades de 20 e 50 cm nas camadas antrópicas e um pequeno aumento na profundidade de 100 cm, evidenciando perdas por lixiviação. Na próxima coleta (05/04), esse processo passa a ser evidenciado também na camada de 100 cm, onde se observa perdas de  $\text{Mg}^{2+}$  da ordem de  $0,09 \text{ mg L}^{-1}$ .

Até o dia 12/04, observa-se maior homogeneidade na concentração de  $\text{Mg}^{2+}$  nas camadas antrópicas nas profundidades superiores quando comparado com a camada de 100 cm. Tal fato pode indicar maior dinâmica desse elemento na profundidade de 100 cm em virtude de condições físico-químicas específicas (não estudadas no presente estudo). De forma contrária, no Argissolo Amarelo A moderado foi verificado homogeneidade na concentração desse elemento em 100 cm, apesar de ter apresentado pequeno decréscimo de  $0,05 \text{ mg L}^{-1}$ . Ainda, nessa área foi observado que a concentração de  $\text{Mg}^{2+}$  na profundidade de 50 cm alcançou  $0,22 \text{ mg L}^{-1}$  no dia 10/05, incremento esse também observado em 100 cm, assim como observado para a concentração de  $\text{Ca}^{2+}$ . Isso reforça a hipótese de *input* de material da floresta e pequena migração desse elemento para a profundidade de 100 cm.

Do dia 12/04 até o dia 17/05 ocorreu déficit na concentração de  $\text{Mg}^{2+}$  da ordem de 0,19 e de  $0,06 \text{ mg L}^{-1}$  nas profundidades de 20 e 50 cm e conseqüente aumento de  $0,18 \text{ mg L}^{-1}$  em 100 cm nas camadas antrópicas. No Argissolo Amarelo A moderado, do dia 10 ao dia 17/05 ocorreu diminuição de  $\text{Mg}^{2+}$  em 50 cm atingindo valores abaixo do limite de detecção, assim como observado no Argissolo Amarelo A antrópico em 20 e

50 cm. Em contraste, por sua vez, não foi observado o incremento desse elemento em profundidade, indicando que o  $Mg^{2+}$  da profundidade de 50 cm foi retirado da solução do solo por meio da adsorção ao complexo de troca e/ou, incorporado em profundidades superiores a 100 cm.

**Tabela 6.** Teor médio, desvio padrão, mínimo e máximo de macro e micronutrientes em amostras de solução do solo em área de Argissolo Amarelo com horizonte A antrópico e Argissolo Amarelo com horizonte A moderado na Estação Experimental do Caldeirão (Embrapa/CPAA), Iranduba – AM.

Parâmetro	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>
	-----mg L <sup>-1</sup> -----								
<b>Argissolo Amarelo A antrópico (20 cm)</b>									
Média	3,84	0,51	*	0,30	0,02	0,07	0,01	0,08	*
Desvio Padrão	1,40	0,09	*	0,09	*	0,07	0,00	0,10	*
Mínimo	2,32	0,36	*	0,23	0,02	0,03	0,00	0,01	*
Máximo	6,56	0,62	*	0,55	0,02	0,24	0,01	0,31	*
<b>Argissolo Amarelo A antrópico (50 cm)</b>									
Média	4,83	0,37	1,33	0,43	0,02	0,05	0,01	0,04	*
Desvio Padrão	1,69	0,17	0,94	0,17	0,01	0,03	0,01	0,03	*
Mínimo	2,76	0,22	0,45	0,24	0,01	0,03	0,00	0,02	*
Máximo	7,55	0,72	2,32	0,77	0,02	0,11	0,02	0,11	*
<b>Argissolo Amarelo A antrópico (100 cm)</b>									
Média	3,37	0,15	0,42	0,40	0,01	0,05	0,01	0,07	*
Desvio Padrão	1,30	0,07	*	0,09	*	0,04	0,00	0,03	*
Mínimo	2,10	0,08	0,42	0,31	0,01	0,02	0,01	0,01	*
Máximo	5,66	0,31	0,42	0,59	0,01	0,12	0,01	0,15	*
<b>Argissolo Amarelo A moderado (50 cm)</b>									
Média	2,80	0,18	0,53	0,82	*	0,10	0,01	0,06	0,43
Desvio Padrão	2,81	0,10	0,17	0,40	*	0,07	0,00	0,06	0,07
Mínimo	0,82	0,04	0,41	0,33	*	0,03	0,01	0,01	0,38
Máximo	9,88	0,31	0,78	1,72	*	0,25	0,01	0,19	0,48
<b>Argissolo Amarelo A moderado (100 cm)</b>									
Média	3,47	0,10	0,71	0,77	*	0,06	0,01	0,06	*
Desvio Padrão	1,33	0,02	0,35	0,41	*	0,03	0,00	0,05	*
Mínimo	1,07	0,07	0,43	0,32	*	0,03	0,00	0,01	*
Máximo	4,87	0,13	1,30	1,58	*	0,15	0,01	0,19	*

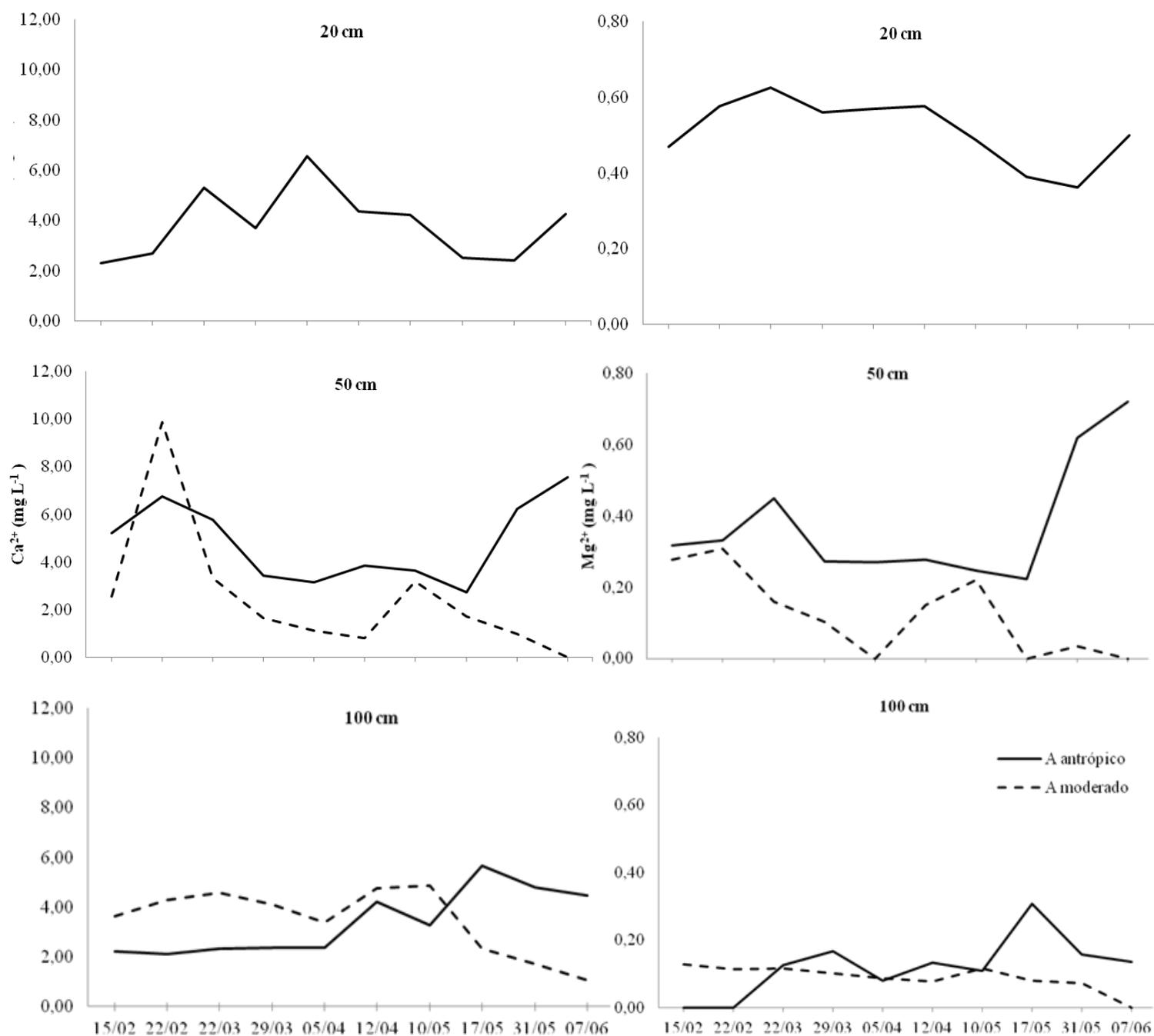
\*Abaixo do limite de detecção do método

Assim como observado para o  $Ca^{2+}$ , nas camadas antrópicas pode-se verificar que na primeira lixiviação os menores déficits foram registradas em 50 cm (0,18 mg L<sup>-1</sup>), enquanto que na segunda lixiviação os menores déficits foram computadas em 20 cm (0,18 mg L<sup>-1</sup>). De forma semelhante, no Argissolo Amarelo A moderado os maiores déficits na primeira lixiviação foram registrados em 50 cm (0,21 mg L<sup>-1</sup>).

Esses resultados sugerem que os solos estudados mobilizam nutrientes para a solução do solo de forma diferente. Nota-se que o Argissolo Amarelo A antrópico além de apresentar teores mais elevados no complexo de troca da fase sólida, apresentam menores perdas de nutrientes da solução do solo quando comparado com o Argissolo Amarelo A moderado. Esses resultados corroboram com os encontrados por Lehmann et al. (2003), no qual enfatizam que a lixiviação de nutrientes é muito mais baixa na TPI do que no solo adjacente. Essa maior estabilidade das camadas antrópicas está provavelmente relacionada com o tipo de matéria orgânica existente nessas camadas, no qual caracteriza-se por elevada recalcitrância e reatividade, possibilitando assim, a existência de um ambiente favorável as reações de troca catiônica, com colóides inorgânicos e orgânicos do solo e conseqüente equilíbrio com os íons em solução (MADARI et al., 2010).

Na primeira lixiviação foram perdidos  $0,24 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{Mg}^{2+}$  das camadas antrópicas até 50 cm, dos quais  $0,20 \text{ mg L}^{-1}$  foram perdidos do sistema e/ou acumulados em profundidade superior a 100 cm; no entanto, na segunda lixiviação foram perdidos  $0,13 \text{ mg L}^{-1}$  até 50 cm, do qual  $0,07 \text{ mg L}^{-1}$  foram perdidos do sistema e/ou acumulados em profundidade superior a 100 cm, o que reforça a idéia de maior grau de lixiviação durante o final do mês de março (primeira lixiviação).

Corroborando com o observado para as concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$ , observa-se um aumento nos teores de  $\text{Mg}^{2+}$  entre os dias 17/05 e 07/06 de  $0,11$  e  $0,50 \text{ mg L}^{-1}$  nas camadas antrópicas em 20 e 50 cm, respectivamente, enquanto a profundidade de 100 cm apresentou déficit de  $0,17 \text{ mg L}^{-1}$ . Em trabalho realizado na região de Manaus, Luizão (1989) observou que a principal fonte de magnésio no solo é derivada da reciclagem de serrapilheira, correspondendo a uma entrada anual de  $14 \text{ kg ha}^{-1}$  de magnésio. Campo et al. (2000) e Filoso et al. (1999) observaram que, além da reciclagem de serrapilheira, ocorrem entradas significativas de magnésio via precipitação.



**Figura 8.** Valores médios de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> no Argissolo Amarelo A antrópico e Argissolo Amarelo A moderado na Estação Experimental do Caldeirão (Embrapa/CPAA), Iranduba – AM.

As concentrações iniciais de K<sup>+</sup> na solução do solo em todas as profundidades das camadas antrópicas apresentaram-se abaixo do limite de detecção do método. Entretanto, no dia 22/02 foi observado a concentração de 0,45 mg L<sup>-1</sup> na profundidade de 50 cm, incremento esse que assemelha-se ao comportamento do Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> nas profundidades de 20 e 50 cm. Por outro lado, no Argissolo Amarelo A moderado a

maior concentração inicial foi verificada na profundidade de 50 cm (Tabela 6 e Figura 9).

Em geral, os teores de  $K^+$  na solução do solo foram maiores no Argissolo Amarelo A moderado. Mendoza (2011) observou uma tendência do  $K^+$  estar mobilizado em maior concentração na solução de TPI e Terra Mulata da região do Encontro das Águas no estado do Amazonas. Por outro lado, Neu (2005) observou concentrações extremamente baixas de  $K^+$  na solução do solo, tanto no período seco como chuvoso, com concentrações de muitas amostragens abaixo do limite de detecção do equipamento. Essa autora salienta que um dos fatores responsáveis pela limitação de  $K^+$  nos ecossistemas pode ser a facilidade com que este cátion é perdido, devido à sua grande mobilidade, que facilita sua lixiviação.

No dia 29/03 foi observado aumento na concentração de  $K^+$  no Argissolo Amarelo A moderado de 0,41 e 0,81  $mg L^{-1}$  nas profundidades de 50 e 100 cm respectivamente, fato esse ocorrido concomitantemente com as perdas por lixiviação dos cátions bivalentes nessas camadas; no entanto, o aumento de 0,52  $mg L^{-1}$  observado no dia 12/04 na profundidade de 50 cm acompanhou considerável diminuição nos teores de  $Ca^{2+}$  e aumentos na concentração de  $Mg^{2+}$  nessa mesma profundidade. Tais fatos assinalam que a dinâmica dos elementos na solução do solo, especialmente aqueles que apresentam maior mobilidade, dependem da concentração iônica da solução do solo e conseqüente interação desses com os demais elementos dessa fase.

Foram observados três momentos de redução consideráveis de  $K^+$  no Argissolo Amarelo A moderado em 50 cm, a saber: 15/02 a 22/03, 29/03 a 05/04 e 12/04 a 10/05. Naqueles dois primeiros, tal fato ocorreu em concomitância com diminuição na profundidade de 100 cm, sendo mais acentuada no segundo período, onde uma precipitação de 66,5 mm promoveu diminuição de 0,87  $mg L^{-1}$ , o que corresponde a 67 % da máxima concentração de  $K^+$  encontrada no período estudado. Por outro lado, foram verificados dois aumentos na concentração de  $K^+$  em 50 cm no Argissolo Amarelo A moderado. Apesar de ocorrido em intervalos distintos, reflete a dinâmica da precipitação nos respectivos períodos. Esse elemento pode está sendo liberado para a solução do solo por meio do intemperismo da mica (Figura 6), no qual apresenta considerável quantidade desse elemento em sua estrutura, bem como da decomposição do material orgânico. Ainda, o  $K^+$  apresenta como fonte de maior importância a precipitação (LIKENS & BORMANN, 1977; BERNER & BERNER, 1987; FILOSO et

al., 1999; CAMPO et al., 2000; GRIMALDI et al., 2004) e, com participação menos significativa, os exsudados de raízes em sistemas cobertos por vegetação (STALLARD & EDMOND, 1981).

Foi observado que o aumento de tais concentrações ocorreu em concomitância com as chuvas e que a redução ocorreu em virtude da continuação das mesmas. Logo, observa-se um primeiro momento de aumento da concentração de  $K^+$  na solução via pluviolixiviados e um segundo momento de redução desse elemento, devido a elevada mobilidade desse íon monovalente em solução em comparação com os anteriormente discutidos.

A partir do dia 12/04 até a última coleta em 100 cm e do dia 10/05 na profundidade de 50 cm, a concentração de  $K^+$  na solução do Argissolo Amarelo A moderado alcançou valores abaixo do limite de detecção pelo método, o que contrastou com o comportamento observado desse elemento nas camadas antrópicas no mesmo período.

No dia 31/05 foi observada em 50 cm a maior concentração de  $K^+$  no período estudado ( $2,32 \text{ mg L}^{-1}$ ) nas camadas antrópicas, valor esse quase quatro vezes maior que a concentração de  $Mg^{2+}$  nessa mesma data.

Apesar de tal aumento também ter sido encontrado na profundidade de 50 cm para os cátions anteriormente discutidos, o comportamento de  $K^+$  em 50 e 100 cm no dia 07/06 nas camadas antrópicas divergiu dos demais, tendo aquele primeiro apresentado a tendência de redução de concentração e o segundo de pequeno aumento, em virtude de incorporação de parte do  $K^+$  perdido da camada superior. Segundo Luizão (1989), ocorre entrada significativa deste elemento, via ciclagem de serrapilheira em floresta primária de Manaus, valores que correspondem a  $15 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K^+$  por ano. Ainda, Vitousek et al. (1986) admitem que a principal via de entrada do  $K^+$  é através da lavagem da serrapilheira, assim como do material acumulado (excremento de animais e material orgânico) sobre os troncos, folhas e galhos das árvores.

Assim como observado para o  $K^+$ , os teores de  $Na^+$  na solução do Argissolo Amarelo A moderado encontram-se em valores mais elevados que nas camadas antrópicas (Tabela 6 e Figura 9). Com exceção da Terra Preta e da Terra Mulata do Encontro das Águas, Mendoza (2011) observou uma tendência do  $Na^+$  ser o elemento de maior concentração na solução em todas as áreas estudadas. Da mesma forma, Neu (2005) observou uma tendência sódica-potássica da solução do solo, para a maioria dos

ecossistemas avaliados, sendo o  $\text{Na}^+$  o elemento de maior contribuição para esta tendência, no qual apresentou-se em maiores concentrações durante o período chuvoso e após eventos isolados de chuva.

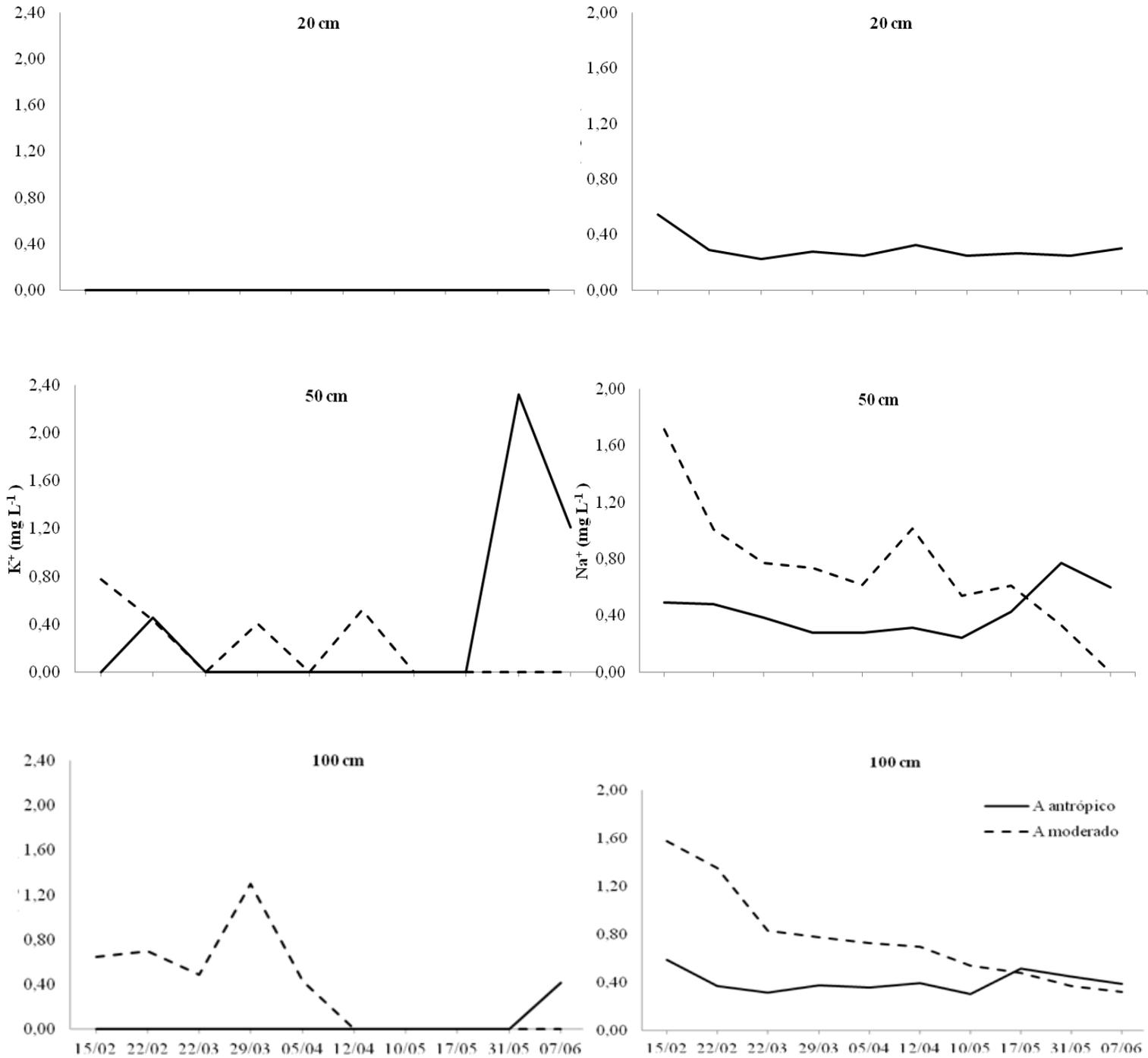
No Argissolo Amarelo A antrópico, inicialmente a maior concentração de  $\text{Na}^+$  foi observada em 100 cm ( $0,59 \text{ mg L}^{-1}$ ). No dia 22/03, tais concentrações foram reduzidas para 0,23 e  $0,31 \text{ mg L}^{-1}$  em 20 e 100 cm, respectivamente. De forma semelhante, a profundidade de 50 cm totalizou déficits de  $0,21 \text{ mg L}^{-1}$  até o dia 29/03. No Argissolo Amarelo A moderado a maior concentração de  $\text{Na}^+$  foi observada inicialmente em 50 cm ( $1,72 \text{ mg L}^{-1}$ ). Tal profundidade apresentou diminuição na concentração desse elemento até o dia 05/04, atingindo valores de  $0,61 \text{ mg L}^{-1}$ , de onde a partir daí nota-se um primeiro incremento em sua concentração entre os dias 05 e 12/04 ( $1,02 \text{ mg L}^{-1}$ ).

O  $\text{Na}^+$  em 50 cm no Argissolo Amarelo A antrópico apresentou comportamento homogêneo durante a primeira semana de coleta. Do dia 22/02 ao 22/03 a concentração do  $\text{Na}^+$  diminuiu em todas as profundidades, alcançando perdas da ordem de  $0,06 \text{ mg L}^{-1}$  nas profundidades de 20 e 100 cm e de  $0,09 \text{ mg L}^{-1}$  na profundidade de 50 cm, fato esse ocorrido com o aumento da concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  em 20 cm e diminuição em 50 cm, bem como aumento na concentração de  $\text{Mg}^{2+}$  em todas as profundidades estudadas. Esse comportamento foi semelhante ao observado para o  $\text{K}^+$  no qual credita-se a maior mobilidade de íons monovalentes em detrimento a maior concentração daqueles bivalentes.

Enquanto que do dia 22 ao dia 29/03 ocorreram diminuição nos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  nas primeiras profundidades estudadas do Argissolo Amarelo A antrópico, foi observado aumento de 0,05 e  $0,06 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{Na}^+$  em 20 e 100 cm. Tal fato corrobora com a hipótese de que nesse período houve saídas de elementos bivalentes da solução do solo e pequeno aumento na concentração de  $\text{Na}^+$ .

Após um período de aumento desse elemento na solução em todas as profundidades estudadas, entre o dia 12/04 e 10/05 ocorreu uma segunda diminuição na concentração de  $\text{Na}^+$  em 50 e 100 cm em ambas as áreas estudadas, assim como observado para o  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  anteriormente. Em seguida, há entrada de  $0,53 \text{ mg L}^{-1}$  desse elemento em 50 cm e  $0,14 \text{ mg L}^{-1}$  em 100 cm até o dia 31/05 nas camadas antrópicas.

Não foi observada alteração na dinâmica desse elemento em 20 cm no Argissolo Amarelo A antrópico, ao passo que foi observado na concentração desse elemento desde o início até o final do período em estudo na profundidade de 100 cm do Argissolo Amarelo A moderado.



**Figura 9.** Valores médios de  $K^+$  e  $Na^+$  no Argissolo Amarelo A antrópico e Argissolo Amarelo A moderado na Estação Experimental do Caldeirão (Embrapa/CPAA), Iranduba – AM.

As maiores concentrações iniciais de  $\text{Fe}^{2+}$  no Argissolo Amarelo A antrópico foram observados em 20 cm ( $0,07 \text{ mg L}^{-1}$ ), enquanto no Argissolo Amarelo A moderado a maior concentração inicial foi observada em 50 cm ( $0,25 \text{ mg L}^{-1}$ ) (Tabela 6 e Figura 10). De forma geral, os teores desse elemento ocorreram em maiores concentrações no Argissolo Amarelo com A moderado quando comparado com as camadas antrópicas. Os reduzidos teores de  $\text{Fe}^{2+}$  trocável no Argissolo Amarelo A antrópico são uma de suas características típicas e são corroborados por estes dados de solução do solo. Provavelmente os menores teores de  $\text{Fe}^{2+}$  nessas camadas podem estar relacionados com a complexação com carbono orgânico dissolvido, o que propicia o transporte desse metal para camadas abaixo do horizonte com maiores teores de material orgânico.

No dia 22/02, o  $\text{Fe}^{2+}$  em 50 cm no Argissolo Amarelo A moderado apresentou comportamento diferente dos observados para o  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  e semelhantes ao  $\text{Na}^+$  nessa mesma área, apresentando decréscimo de  $0,20 \text{ mg L}^{-1}$ ; no entanto o  $\text{Fe}^{2+}$  apresentou pequeno aumento nesse dia ( $0,08 \text{ mg L}^{-1}$ ) em 100 cm. Nessa data, foram alcançados os maiores valores de pH no período estudado, o que pode explicar a menor disponibilidade desse elemento e consequente decréscimo na solução do solo. Em seguida, o decréscimo na concentração de  $\text{Fe}^{2+}$  continuou nessa profundidade, até o dia 29/03, o que também foi observado para os cátions anteriormente discutidos.

Tal fato também foi observado no dia 22/03 no Argissolo Amarelo A antrópico, onde valores de pH da solução do solo de 5,70 proporcionaram ao  $\text{Fe}^{2+}$  encontrar-se como hidróxido que apresenta baixa solubilidade, e consequente menor concentração na solução do solo (COSTA & BIGHAM, 2009). Tal fato ocorreu em concomitância com o aumento das concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  nessa profundidade. Segundo Costa & Bigham (2009), a solubilidade dos óxidos de ferro tende a crescer quanto menor for a concentração de íons em solução, devido a constante de solubilidade diminuir com o aumento da força iônica da solução.

No dia 29/03 foi observado as maiores concentrações desse elemento no Argissolo Amarelo A antrópico no período estudado, atingindo valores da ordem de  $0,24 \text{ mg L}^{-1}$  em 20 cm. Tal fato ocorreu em associação a diminuição na concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  e pequeno aumento na concentração de  $\text{Na}^+$ . Conforme observado anteriormente no período de 22/02 a 29/03, a precipitação total de 369 mm provavelmente acarretou perdas parciais por lixiviação dos macroelementos bivalentes

e/ou adsorção nos sítios de troca e permanência do  $\text{Fe}^{2+}$  na solução, em virtude desse último apresentar baixa solubilidade.

O período de 10 a 17/05 foi observado aumento na concentração de  $\text{Fe}^{2+}$  no Argissolo Amarelo A antrópico de 100 cm e diminuição nas demais profundidades, o que também foi observado para os cátions  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ . Entre os dias 17 e 31/05 conforme observado para os cátions bivalentes, há perdas de  $\text{Fe}^{2+}$  em 100 cm, aumento de  $0,07 \text{ mg L}^{-1}$  em 50 cm e estabilização na concentração desse elemento em 20 cm. No dia 07/06 foi observado *input* desse elemento em 20 cm, diminuição em 50 cm e acúmulo em 100 cm.

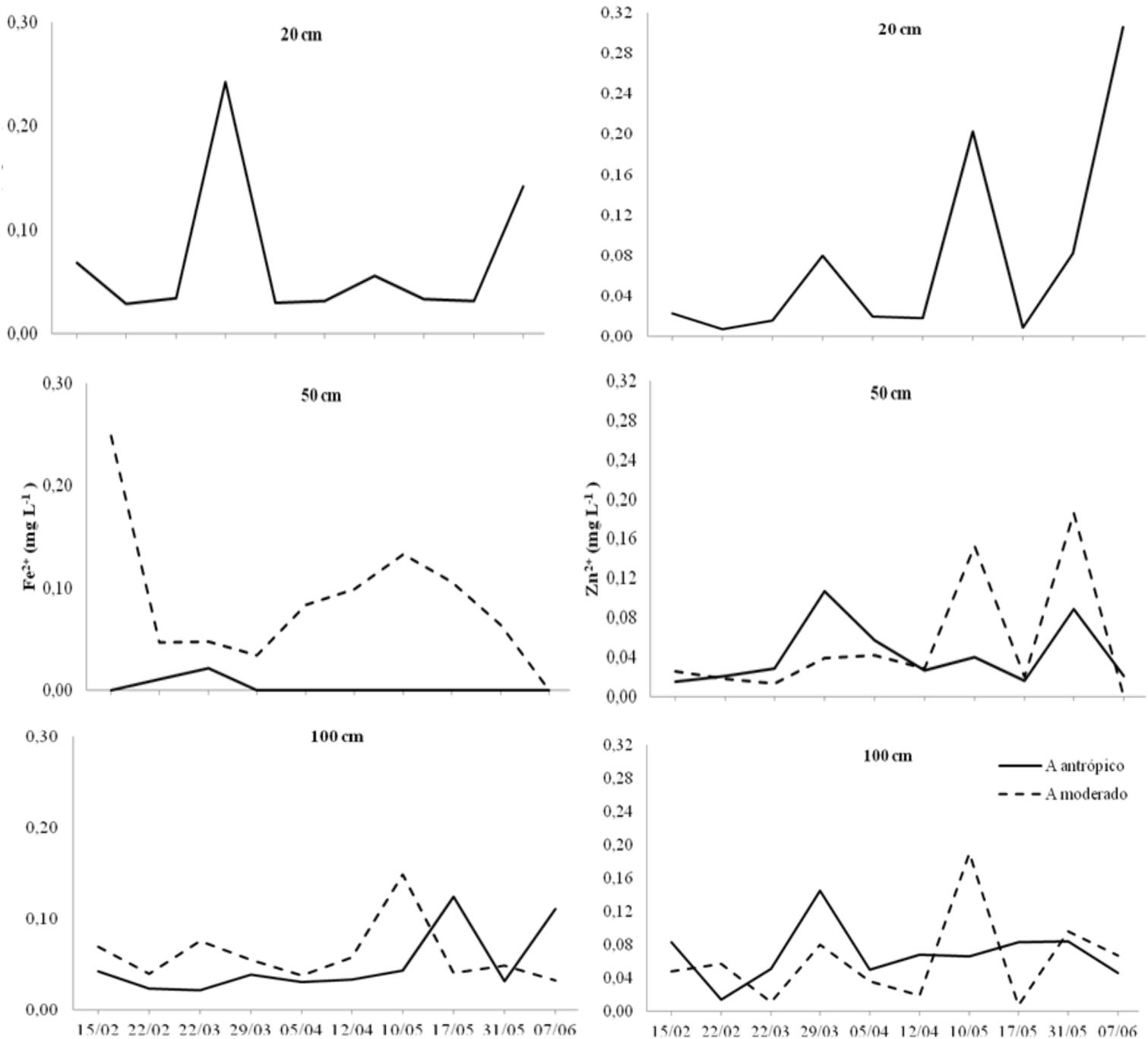
Apesar de não tão expressivo, a concentração de  $\text{Zn}^{2+}$  foi em geral maior no Argissolo Amarelo A antrópico (Tabela 6 e Figura 10). Em contraste ao observado anteriormente para os demais elementos, a maior concentração inicial de  $\text{Zn}^{2+}$  foi verificada em 100 cm em ambas as áreas estudadas.

No Argissolo Amarelo A moderado, a mesma diminuição verificada em 50 cm para os elementos  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  e em 50 e 100 cm para o  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$  entre os dias 22/02 e 22/03, também foram verificadas para o  $\text{Zn}^{2+}$  em todas as profundidades, o que reforça a idéia de maior intensidade de diminuição na concentração de elementos nesse período.

No dia 29/03 houve um primeiro incremento na concentração desse elemento em todas as profundidades de ambas as áreas estudadas, enquanto que no dia 10/05, com exceção da camada de 100 cm do Argissolo Amarelo A antrópico, foi observado aumento expressivo na concentração desse elemento. Esses dois episódios ocorreram em concomitância com o a diminuição na concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  nas primeiras profundidades estudadas, o que corrobora a ideia de que uma das formas de aumento desse elemento na solução está relacionada ao aumento da solubilidade do mesmo em virtude da menor concentração de íons na solução e que a dinâmica desses elementos é governada pelos mesmos fatores, em destaque para o pH da solução.

Entre os dias 10 e 17/05 foi verificada diminuição na concentração de  $\text{Zn}^{2+}$  de  $0,13$  e  $0,18 \text{ mg L}^{-1}$  em 50 e 100 cm no Argissolo Amarelo A moderado, respectivamente, conforme observado para outros elementos discutidos anteriormente. No dia 31/05 o  $\text{Zn}^{2+}$  alcançou a concentração de  $0,19 \text{ mg L}^{-1}$  na profundidade de 50 cm; no entanto, na última coleta foi registrado declínio na concentração desse elemento em 100 cm, o que também foi observado no Argissolo Amarelo A antrópico.

Por outro lado, foi observado que a partir do dia 17/05 os teores de  $Zn^{2+}$  em 20 cm no Argissolo Amarelo A antrópico aumentam de forma semelhante aos encontrados para os elementos anteriormente discutidos, no qual ocorreu a partir do dia 31/05, que assinala para a entrada de elementos oriundos de materiais com concentrações variáveis dos mesmos em sua constituição.



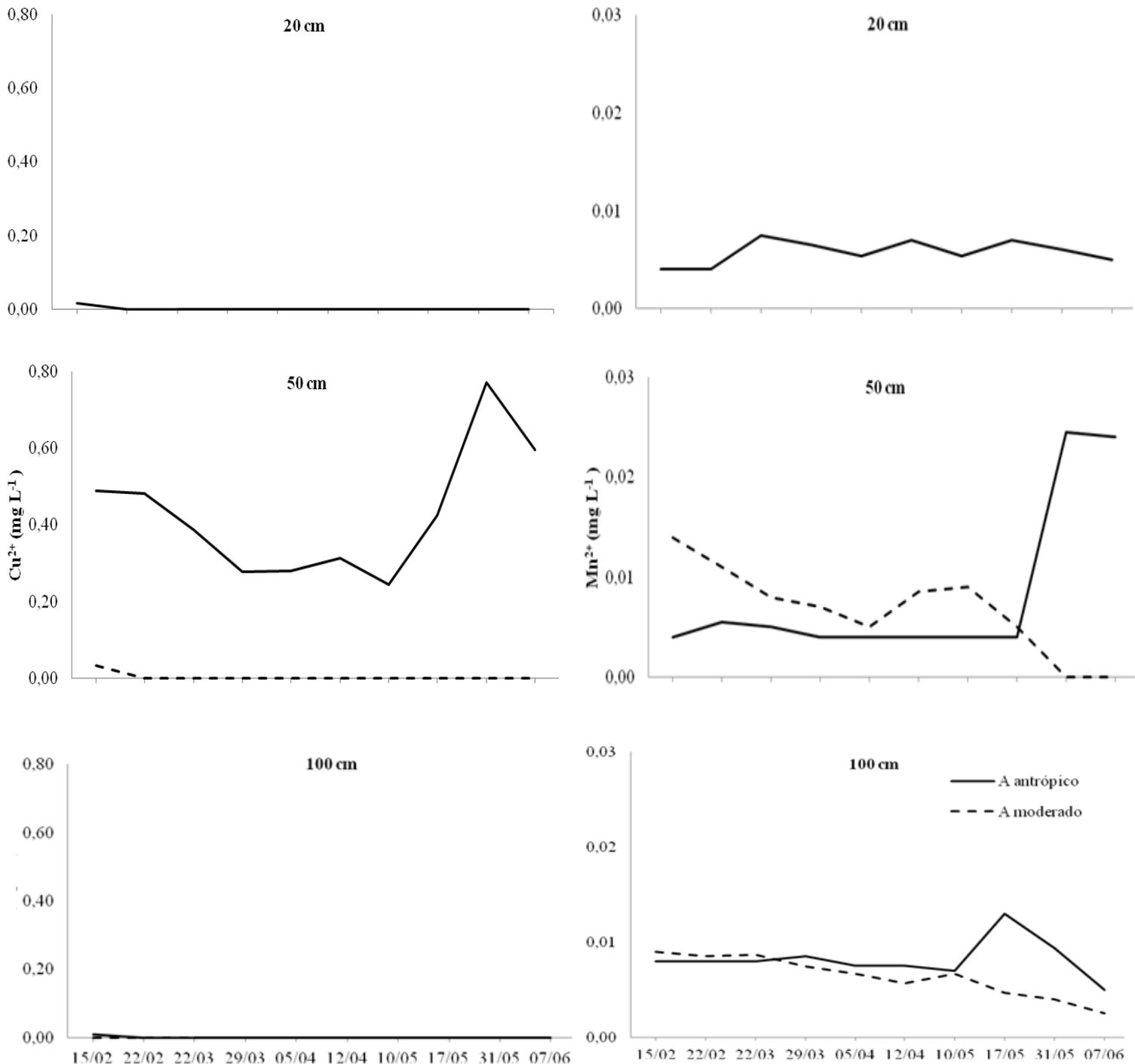
**Figura 10.** Valores médios de  $Fe^{2+}$  e  $Zn^{2+}$  no Argissolo Amarelo A antrópico e Argissolo Amarelo A moderado na Estação Experimental do Caldeirão (Embrapa/CPAA), Iranduba – AM.

Foram observadas baixas concentrações de  $Mn^{2+}$  em todas as profundidades de ambas as áreas estudadas. Os valores máximos alcançados foram em 50 cm, sendo de 0,02 e 0,01  $mg L^{-1}$  no Argissolo Amarelo A antrópico e no Argissolo Amarelo A moderado (Tabela 6 e Figura 11). Segundo Costa et al. (2010) os teores de elementos como  $Mn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$  e  $Zn^{2+}$  destacam-se com teores elevados, quando comparado com o horizonte A das imediações não modificadas, enquanto não apresentam diferenças significativas no horizonte B, reforçando a relação com o material adicionado especialmente a estrutura da matéria orgânica. Ainda, conforme Kern et al. (1999), as folhas de palmeiras utilizadas na cobertura de habitações, que são renovadas periodicamente, podem ser uma fonte importante de  $Mn^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  para o solo.

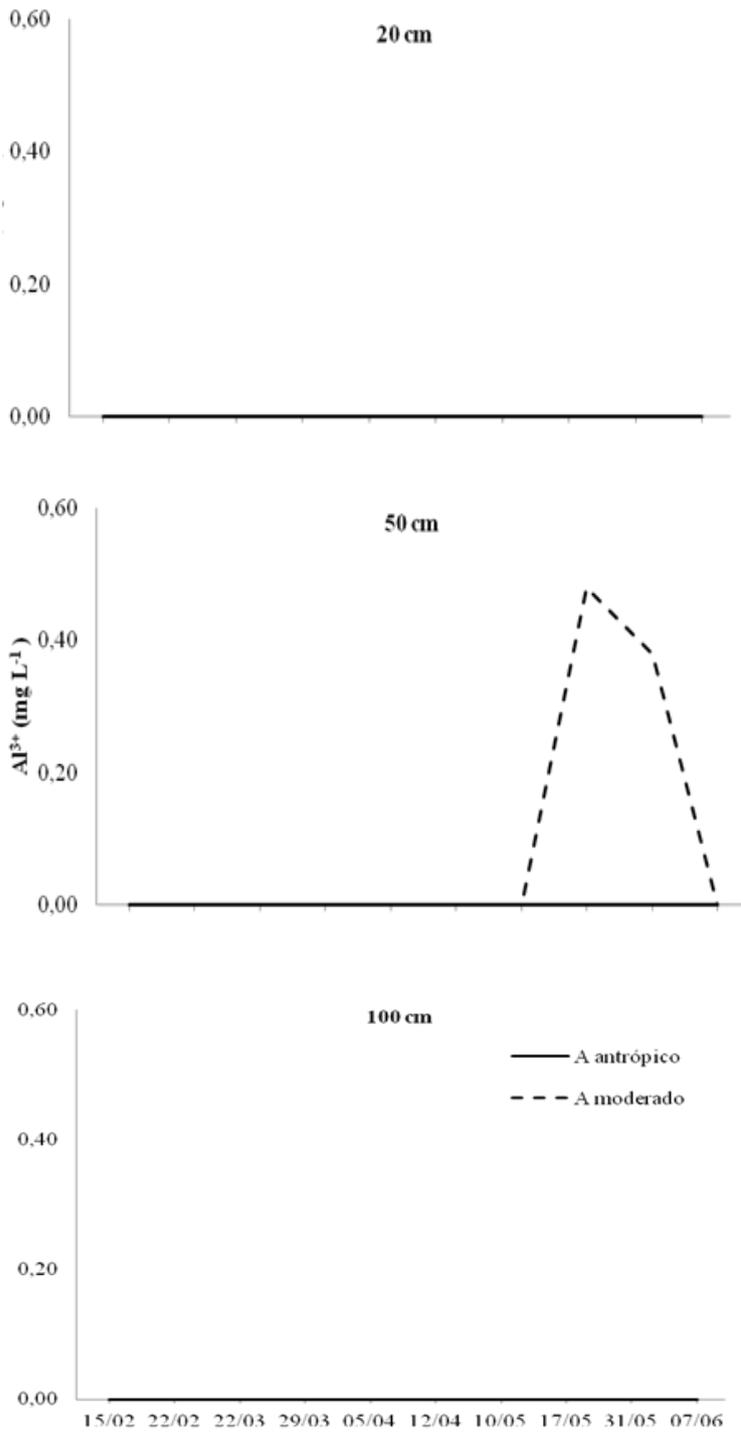
Quanto ao  $Cu^{2+}$ , no Argissolo Amarelo A antrópico apresentaram no dia 15/02 valores acima do limite de detecção somente em 20 e 100 cm (Tabela 6 e Figura 11). No dia 22/02 e 22/03 apenas a profundidade de 50 cm apresentou valores acima do limite de detecção. Entretanto, os valores observados nessa profundidade não ultrapassaram o valor 0,02  $mg L^{-1}$ . Do dia 29/03 até o dia 07/06 não foram observados valores acima do limite de detecção. Não diferente, no Argissolo Amarelo A moderado foi verificado concentrações de  $Cu^{2+}$  apenas no dia 15/02 (0,03  $mg L^{-1}$ ), ficando desde o dia 22/02 até o dia 07/06 abaixo do limite de detecção. Apesar dos íons fosfato interferirem na solubilidade dos elementos metálicos, assim como o  $Cu^{2+}$ , formando precipitados pouco solúveis e diminuindo a concentração deles em solução (ABREU et al., 2001), nos solos antrópicos o cobre está mais fortemente ligado à matéria orgânica do que outros cátions micronutrientes como o  $Zn^{2+}$  e o  $Mn^{2+}$  assim como observado por Camargo et al. (2001).

O  $Al^{3+}$  apresentou concentrações abaixo do limite de detecção em todas as amostragens do Argissolo Amarelo A antrópico (Tabela 6 e Figura 12), corroborando com a boa qualidade química desses solos. No Argissolo Amarelo A moderado, as observações acima do limite de detecção foram no dia 17/05 na profundidade de 50 cm, apresentando 0,48  $mg L^{-1}$  e no dia 31/05 (0,38  $mg L^{-1}$ ). Em solos de áreas tropicais úmidas com boa drenagem verificam-se intensa remoção e lixiviação de cátions de reação básica, com resultante acúmulo de  $Al^{3+}$  trocável nos sítios de carga negativa, ao passo que nas camadas antrópicas esses encontram-se em níveis reduzidos no complexo de troca em decorrência da adsorção de cátions bivalentes, que no caso estudado é

principalmente  $\text{Ca}^{2+}$ . Ainda, o aumento desses cátions na CTC do solo proporciona aumento no pH, onde nesses valores o alumínio encontra-se precipitado como óxido pouco solúvel (ALLEONI et al., 2009) e que sua disponibilidade é diminuída em camadas com elevado teor de matéria orgânica, em virtude da formação de complexos estáveis com os grupos funcionais desse material.



**Figura 11.** Valores médios de  $\text{Cu}^{2+}$  e  $\text{Mn}^{2+}$  no Argissolo Amarelo A antrópico e Argissolo Amarelo A moderado na Estação Experimental do Caldeirão (Embrapa/CPAA), Iranduba – AM.



**Figura 12.** Valores médios de  $Al^{3+}$  no Argissolo Amarelo A antrópico e Argissolo Amarelo A moderado na Estação Experimental do Caldeirão (Embrapa/CPAA), Iranduba – AM.

## 6. CONCLUSÕES

1. Partindo do pressuposto que anteriormente as atividades antrópicas o Argissolo Amarelo com A antrópico era similar ao Argissolo Amarelo com A moderado, pode-se observar que tais atividades promoveram a redução da densidade do solo dos horizontes AB e BA.

2. A assembléia mineralógica da fração argila é caracterizada pela dominância de caulinita e traços de mica e anatásio em ambas as áreas. Isso evidencia que essas áreas são originadas de uma mesma matriz mineral, reforçando a hipótese do processo antrópico na formação dos horizontes típicos das TPI da Amazônia.

3. Os solos estudados mobilizam nutrientes para a solução do solo de forma diferente. O Argissolo Amarelo com A antrópico apresenta teores mais elevados de elementos no complexo de troca e menores saídas dos mesmos da solução quando comparado com o Argissolo Amarelo A com moderado.

4. Foi verificado *input* de nutrientes nos dias 22/03 ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Cu}^{2+}$ ) e 31/05 ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  e  $\text{Mn}^{2+}$ ) nos horizontes antrópicos. Esses períodos assinalam para aumento na concentração de elementos na solução via pluviolixiviados e/ou dessorção dos sítios de troca da matéria orgânica e das argilas.

5. Os teores de carbono no Argissolo Amarelo com A moderado foram maiores que os teores de carbono no Argissolo Amarelo com A antrópico.

6. O  $\text{Ca}^{2+}$  foi o elemento em maior concentração na solução de ambos os solos estudados. O  $\text{Na}^+$  mostrou a segunda maior concentração na solução do Argissolo Amarelo com A moderado e em 50 e 100 cm na camada antrópica. O  $\text{Mg}^{2+}$  foi expressivo somente na camada de 20 cm da TPI, onde foi o segundo maior cátion em solução.

7. Foram encontrados maiores concentrações de  $\text{Mn}^{2+}$  e  $\text{Zn}^{2+}$  na solução do Argissolo Amarelo com A antrópico, o que demonstra equilíbrio com os elevados teores desses elementos no complexo de troca da fase sólida.

8. A concentração de  $\text{Fe}^{2+}$  na solução do solo é maior no Argissolo Amarelo com A moderado quando comparado ao Argissolo Amarelo com A antrópico, corroborando com as afirmativas que os horizontes antrópicos típicos das TPI apresentam reduzidos teores de ferro.

9. A concentração de  $\text{Al}^{3+}$  na solução do Argissolo Amarelo com A antrópico foi nula em todas as avaliações realizadas corroborando as assertivas de elevada fertilidade destes solos.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, C.A.; FERREIRA, M.E.; BORKERT, J.C. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: zinco e cobre. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; VAN RAIJ, B.; ABREU, C.A. (Eds.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal, p. 125-150, 2001.

ALEXANDER, M. **Introduction to soil microbiology**. New York, John Wiley, 1977. 472p.

ALFAIA, S.S. Destino de fertilizantes nitrogenados marcados com  $^{15}\text{N}$  em dois solos da região da Amazônia Central. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 21, Petrolina, 1994. **Anais ...** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 260-261, 1994.

ALFAIA, S.S. Destino de adubos nitrogenados marcados com  $^{15}\text{N}$  em amostras de dois solos da Amazônia Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 3, p. 379-385, 1997.

ALLEONI, L.R.F.; CAMARGO, O.A. Atributos Físicos de Latossolos Ácricos do norte paulista. Campinas, SP. **Scientia Agricola**, 51(2):321-326, 1994.

ALLEONI, L.R.F.; CAMARGO, O.A.; CASAGRANDE, J.C.; SOARES, M.R. Química dos solos altamente intemperizados. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. (Eds.). **Química e mineralogia do solo, Parte II – Conceitos básicos**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 381-448, 2009.

BAENA, A.R.C.; FALESI, I.C. **Avaliação do potencial químico e físico dos solos sob diversos sistemas de uso da terra em Santarém, Estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001. 32p. (Boletim de Pesquisa, 33)

BAKER, D.E. A new approach to soil testing: II ionic equilibria involving H, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu, Zn, Na, P and S. **Soil Science Society of America**, v. 37, p. 537-541, 1973.

BEN-HUR, M.; LI, F.H.; KEREN, R.; RAVINA, I.; SHALIT, G. Water and salt distribution in a field irrigated with marginal water under high water table conditions. **Soil Science American Journal**, Madison, v.65, n.1, p.191-8, jan. 2001.

BERGGREN, D. The solubility of aluminum in two Swedish acidified forest soils: an evaluation of lysimeter measurements using batch titration data. **Water Air Soil Poll.**, 114(1-2):137-153, 1999.

BERNER, E.K.; BERNER, R.A. **The global water cycle**. New Jersey: Prentice-Hall, 1987. 397p.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Particle density. In: KLUTE A. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. Madison: American Society of Agronomy, p. 363-375, 1986.

BLANCO, F.F. **Manual de construção e utilização de extratores de cápsula porosa para obtenção da solução do solo**. Teresina: Embrapa – Meio Norte, 2006. 18p.

BRINKMANN, W.L.F; NASCIMENTO, J.C. The effect of slash and burn agriculture on plant nutrients in the Tertiary region of Central Amazonia. **Turrialba**, v. 21, n. 4, p. 459-465, 1973.

CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F.; CASAGRANDE, J.C. Reações dos micronutrientes e elementos tóxicos no solo. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; VAN RAIJ, B.; ABREU, C.A. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal, p. 89-117, 2001.

CAMERON, F.K. **The soil solution: the nutrient medium for plant growth**. Easton: The Chemical Publishing, 1911. 136p.

CAMPO, J.; MAASS, J.M.; JARAMILLO, V.J.; YRIZAR, A.M. Calcium, potassium, and magnesium cycling in a Mexican tropical dry forest ecosystem. **Biogeochemistry**, v.49, n.1, p.21-36. 2000.

CASSEL, D.K.; KLUTE, A. Water potential: tensiometry. In: KLUTE A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2 ed. Madison: American Society of Agronomy, **Soil Science Society of America**, p. 563-596, 1986.

CORNU, S.; LUCAS, Y.; AMBROSI, J.P.; DESJARDINS, T. Transfer of dissolved Al, Fe and Si in two Amazonian forest environments in Brazil. **European Journal of Soil Science**, 49:377-384, 1998.

CORRÊA, G.R. **Caracterização pedológica de arqueo-antropossolos no Brasil: sambaquis da Região dos Lagos (RJ) e Terras Pretas de Índio na região do Baixo Rio Negro/Solimões (AM)**. 2007. 126p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa/MG, 2007.

COSTA, A.C.S; BIGHAM, J.M. Óxidos de ferro. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. (Eds.). **Química e mineralogia do solo, Parte I – Conceitos básicos**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 505-572, 2009.

COSTA, J.A.; KERN, D.C.; COSTA, M.L.; RODRIGUES, T.E.; KÄMPF, N.; LEHMANN, J.; FRAZÃO, F.J.L. Geoquímica das Terras Pretas Amazônicas. In: TEIXEIRA et al. (Eds.). **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 1 ed., p.162-171, 2010.

COSTA, M.L.; CARMO, M.S.; OLIVEIRA, E.C.; LIMA, H.N.; KERN, D.C.; GOESKE, J. A mineralogia e composição química de fragmentos de cerâmicas arqueológicas em sítios de Terra Preta de Índio. In: TEIXEIRA et al. (Eds.). **As Terras**

**Pretas de Índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas.** Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 1 ed., p. 225-241, 2010.

COUCEIRO, P.R.C.; SANTANA, G.P. Caulinita em solos da Amazônia: caracterização e permutabilidade. **Acta Amazonica**, 29(2):267-275, 1999

CUNHA, T.J.F.; MADARI, B.E.; BENITES, V.M.; CANELLAS, L.P.; NOVOTNY, E.H.; MOUTTA, R.O.; TROMPOWSKY, P.M.; SANTOS, G.A. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte A antrópico da Amazônia (Terra Preta). **Acta Amazonica**, v. 37, n. 1, p. 91-98, 2007.

ELKHATIB, E.A.; HERN, J.L.; STALEY, T.E. A rapid centrifugation method for obtaining soil solution. **Soil Science Society of America Journal**, v. 51, p.578-583, 1987.

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

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. SILVA, F.C. (Ed.). Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 2009. 623p.

FALCÃO, N.P.S.; MOREIRA, A.; COMENFORD, N.B. A fertilidade dos solos de Terra Preta de Índio da Amazônia Central. In: TEIXEIRA et al. (Eds). **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 1 ed., p. 225-241, 2010.

FALESI, I.C. **Solos da Rodovia Transamazônica**. In: Instituto de Pesquisa Agropecuária do Norte - IPEAN (Ed.). Belém: Embrapa - CPATU. 1972a. 196p. (Boletim Técnico, 55).

FALESI, I.C. O estado atual dos conhecimentos sobre os solos da Amazônia brasileira. In: Instituto de Pesquisa Agropecuária do Norte - IPEAN (Ed.) **Zoneamento agrícola da Amazônia. Boletim Técnico Instituto e Pesquisa Agropecuária Norte**. Belém: Embrapa - CPATU. p. 33-64, 1972b.

FALESI, I.C. Estado atual de conhecimentos de solos da Amazônia brasileira. Simpósio do trópico úmido, 1. Belém. **Anais...** Belém, Embrapa - CPATU, p.168-191, 1986.

FAO. **Soil Map of the World**. World Resources Report 60. Rome: FAO, 1988.

FERREIRA, S.J.F; LUIZÃO, F.J.; MIRANDA, S.A.F; SILVA, M.S.R ; VITAL, A.R.T. Nutrientes na solução do solo em floresta de terra firme na Amazônia central submetida à extração seletiva de madeira. **Acta Amazonica**, v. 36, n. 1, p. 59-68, 2006.

FILOSO, S.; WILLIAMS, M.R.; MELACK, J.M. Composition and deposition of throughfall in a flooded forest archipelago (Negro River, Brazil). **Biogeochemistry**, v. 45, n. 2, p.169-195, 1999.

FRANKEN, W; LEOPOLDO, P.R.; BERGAMIN FILHO, H. Fluxo de nutrientes através de águas naturais em floresta de terra firme na Amazônia Central. In: **Workshop on Biogeochemistry of Tropical Rain Florest: Problems for Research**. Piracicaba/São Paulo. p. 29-37, 1985.

GILLMAN, G.P. **A centrifuge method for obtaining soil solution**. Melbourne: CSIRO, Division Soil Report, 1976. 16p.

GLASER, B.G.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W; RUIVO, M.L. Soil Organic Matter Stability in Amazonian Dark Earths. In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B.; WOODS, W.I. (Eds.). **Amazonian Dark Earths: origin, properties, management**. Dondrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 141-158, 2003.

GLASER, B.G.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W. Identifying the pre-Columbian anthropogenic input on present soil properties of Amazonian Dark Earths (Terra Preta). In. GLASER, B; WOODS, W. I. (Eds). **Amazonian Dark Earths: exporation in space and time**. Berlin: Springer, p. 145-158. 2004.

GRIMALDI, C.; GRIMALDI, M.; MILLET, A.; BARIAC, T.; BOULEGUE, J. Behaviour of chemical solutes during a storm in a rainforested Headwater catchment. **Hydrological Processes**, v. 18, n. 1, p. 93-106, 2004.

GROSSMANN, J.; UDLUFT, P. The extraction of soil water by the suction-cup method:a review. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 42, n. 1, p. 83-93, 1991.

HEDIN, L.O.; VITOUSEK, P.M.; MATSON, P.A. Nutrient losses over four million years of tropical forest development. **Ecology**, v. 84, n. 9, p. 2231-2255, 2003.

HILLEL, D. **Soil and water physical principles and process**. New York: Academic Press, 1971. 288p.

HOAGLAND, D.R.; MARTIN, J.C.; STEWART, G.R. Relation of the soil solution to the soil extract. **Journal of Agricultural Research**, Lahore, v. 20, n. 5, p. 381-395, 1920.

HORBE, A.M.C.; COSTA, M.L. Solos gerados a partir do intemperismo de crostas lateríticas sílicoferruginosas. **Acta Amazonica**, v. 27, p. 241-256, 1997.

IUSS WORKING GROUP WRB. **World Reference Base for Soil Resources 2006**. First update 2007. World Soil Resources Reports N° 103. FAO: Rome. On-line version. 2007.

JACKSON, M.L. **Soil chemical analysis: advanced course**. Madison: By author, 1979. 895p.

JURY, W.A.; GARDNER, W.R.; GARDNER, W.H. **Soil Physics**. 5 ed. New York: John Wiley & Sons. 1991.

KÄMPF, N.; WOODS, W.I.; SOMBROEK, W.; KERN, D.C.A; CUNHA, T.J.F. Classification of Amazonian Dark Earths and other ancient antropic soils. In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B.; WOODS, W.I. (Eds.). **Amazonian Dark Earths: origin, properties and management**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 77-102, 2003.

KÄMPF, N.; KERN, D.C. O solo como registro de ocupação humana pré-histórica na Amazônia. In: VIDAL-TORRADO, P.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M.; SILVA, A.P.; CARDOSO, E.J. (Eds.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 4, p. 277-320, 2005.

KÄMPF, N.; WOODS, W.I.; KERN, D.C.; CUNHA, T.J. Classificação das Terras Pretas de Índio e outros solos antrópicos antigos. In: TEIXEIRA et al. (Eds). **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 1 ed, p. 88-103, 2010.

KAUFFMAN, J.B.; CUMMINGS, D.L.; WARD, D.E. Fire in the Brazilian Amazon 2. biomass, nutrient pools and losses in cattle pastures. **O ecologia**, v. 113, n. 3, p. 415 – 427, 1998.

KERN, D.C. Caracterização pedológica de solos com Terra Preta Arqueológica na região de Oriximiná, Pará. 1988. 232p. Dissertação – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre/RS, 1988.

KERN, D.C.; KÄMPF, N. O efeito de antigos assentamentos indígenas na formação de solos com Terra Preta Arqueológica na região de Oriximiná-PA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 13, p. 219-225, 1989.

KERN, D.C. et al. A influencia das palmeiras como fonte de elementos químicos em sítios arqueológicos com Terra Preta. In: VI Simposio da Geologia da Amazônia, Manaus, AM. **Resumos ...** SBG/NO. 1999.

KERN, D.C.; D'AQUINO, G.; RODRIGUES, T.E.; FRAZÃO, F.J.L.; SOMBROEK, W.; MYERS, T.P.; NEVES, E. G. Distribution of amazonian dark earths in the brazilian amazon. In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B.; WOODS, W.I. (Eds.). **Amazonian Dark Earths: origin, properties, management**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 51-75, 2003.

LAO, M.T.; JIMÉNEZ, S.; EYMAR, E.; FERNÁNDEZ, E.J. Nutrient levels of the solution obtained by means of suction cups in intensive tomato cultivation. **Phyton**, Buenos Aires, v. 4, n. 7, p. 29-37, 2004.

LAURANCE, W.F.; FEARNside, P.M.; LAURANCE, S.G.; DELAMONICA, P.; LOVEJOY, T.E.; RANKIN-DE MERONA, J.; CHAMBERS, J.Q.; GASCON, C.

Relationship between soils and Amazon forest biomass: A landscape-scale study. **Forest Ecology and Management**. v.118, n.1-3, p. 127-138. 1999.

LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GERMAN, L.; MCCANN, J.M.; MARTINS, G.C.; MOREIRA, A. Soil fertility and production potential. In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B.; WOODS, W.I. (Eds.). **Amazonian Dark Earths: origin, properties, management**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 105–124, 2003.

LIKENS, G.E.; BORMANN, F.H. **Nutrient cycles. Biogeochemistry of a forested ecosystem**. New York: Springer-Verlag, 1977. 159p.

LIMA, H.N. **Gênese, química, mineralogia e micromorfologia de solos da Amazônia Ocidental**. 2001. 176p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa/MG, 2001.

LIMA, H.N.; SCHAEFER, C.E.R.; MELLO, J.W.V.; GILKES, R.J.; KER, J.C. Pedogenesis and pre-Colombian land use of “Terra Preta Anthrosolos” (“Indian black earth”) of Westerns Amazonia. **Geoderma**, Netherlands, v. 110, p. 1-17, 2002.

LIMA, H.N.; MELLO, J.W.V.; SCHAEFER, C.E.G.R.; KER, J.C. Dinâmica da mobilização de elementos em solos da Amazônia submetidos à inundação. **Acta Amazonica**, vol. 35, n. 3, 2005.

LIMA, H.N. MELO, J.W.V.; SCHAEFER, E.G.R.; KER, J.C.; LIMA, A.M.N. Mineralogia e química de três solos de uma topossequência da bacia sedimentar do rio Solimões, Amazônia Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:59-68, 2006.

LIMA, H.N.; SCHAEFER, C.E.G.R.; KÄMPF, N.; COSTA, M.L.; SOUZA, K.W. Características químicas e mineralógicas e a distribuição de fósforo em Terras Pretas de Índio da Amazônia Ocidental. In: TEIXEIRA et al. (Eds). **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 1 ed., p. 213-225, 2010.

LORD, E.I.; SHEPHERD. Developments in the use of porous ceramic cups for measuring nitrate leaching. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 44, p. 435-449, 1993.

LORD, E.I.; MITCHELL, R.D.J. Effect of nitrogen inputs to cereals on nitrate leaching from sandy soils. **Soil Use Manag.** 14(2):78-83, 1998.

LUCAS, Y.; LUIZÃO, F.J.; CHAUVEL, A.; ROUILLER, J.; NAHON, D. The relation between biological activity of the rain forest and mineral composition of soils. **Science**, 260:521-523, 1993.

LUIZÃO, F.J. Litter production and mineral element input tho the forest foor in a central Amazonian forest. **Geojournal**, v. 19, p. 407-417, 1989.

LUIZÃO, F.J.; SCHUBART, H.O. Litter productions and decomposition in a terra firme of central Amazonian. **Experientia**, 43:259-265, 1987.

MACEDO, R.S. **Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos com horizonte antrópico (Terra Preta de Índio) em áreas de várzea do rio Solimões, AM.** 2009. 74p. Dissertação (Mestrado em Agronomia Tropical) - Universidade Federal do Amazonas. Manaus/AM, 2009.

MADARI, B.E.; CUNHA, T.J.F; NOVOTNY, E.H.; MILORI, D.M.B.P.; NETO, L.M.; BENITES, V.M.; COELHO, M.R.; SANTOS, G.A. Matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (Terra Preta de Índio): Suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo. In: TEIXEIRA et al. (Eds). **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas.** Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 1 ed., p. 173-189, 2010.

MARQUES, R.; RANGER, J.; GELHAYE, D.; POLLIER, B.; PONETTE, Q.; GOEDERT, O. Comparison of chemical composition of soil solutions collected by zerotension plate lysimeters with those from ceramic-cup lysimeters in a forest soil. **Eur. J. Soil Sci**, 47(3):407- 417, 1996.

MARQUES, J.D.O. **Influência de atributos físicos e hídricos do solo na dinâmica do carbono orgânico sob diferentes coberturas vegetais na Amazônia Central.** 2009. 277p. Tese (Doutorado em Biologia Tropical e Recursos Naturais). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus/AM. 2009.

MARRS, R.H.; THOMPSON, J.; SCOTT, D.; PROCTOR, J. Nitrogen mineralization and nitrification in terra-firme forest and savanna soils on Ilha-de-Maraca, Roraima, Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 7, p. 123-137, 1991.

MEIRELLES, F.J. **O livro de ouro da Amazônia.** Rio de Janeiro: Ediouro, 2004. 397p.

MELO, V.F.; WYPYCH, F. Caulinita e haloisita. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. (Eds.). **Química e mineralogia do solo, Parte I – Conceitos básicos.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 427-504, 2009.

MENDOZA, E.M.O. **Carbono orgânico e nutrientes em solos antrópicos e adjacentes sob floresta secundária na Amazônia Central.** 2011. 78p. Dissertação (Mestrado em Agricultura no Trópico Úmido) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus/AM, 2011.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition.** 4. ed. Switzerland: International Potash Institute, 1987. 687p.

METZNER, A.F.; CENTURION, J.F.; MARCHIORI JÚNIOR, M. Relação entre grau de floculação e atributo do solo. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 29, 2003. Ribeirão Preto-SP, **Anais...** Botucatu, 2003.

MEURER, E.J.; ANGHINONI, I.A. Solução do solo. In: MEURER, E.J. (Ed.). **Fundamentos de química do solo.** 2. ed. Porto Alegre: Gênese, p. 101-128, 2004.

MEURER, E.J. **Fundamentos de Química do solo.** 3. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2006. 285p.

MIRANDA, J.; COSTA, L.M.; RUIZ, H.A.; EINLOFT, R. Composição química da solução do solo sob diferentes coberturas vegetais e Análise de carbono orgânico solúvel no deflúvio de pequenos cursos de água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:633-647, 2006.

MORAES, J.F.V.; DYNIA, J.F. Uso de cápsulas porosas para extrair solução do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília/DF, v. 25, n. 10, p. 1523-1528, 1990.

MORAES, J.F.V. Movimento de nutrientes em Latossolo Vermelho-Escuro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 1, p. 85-9, 1991.

MOREIRA, A.; TEIXEIRA, W.G; MARTINS, G.C.; FALCÃO, N.P.S. Métodos de caracterização química de amostras de horizontes antrópicos de Terras Pretas de Índio. In: TEIXEIRA et al. (Eds). **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 1 ed., p. 201-211, 2010.

MORTATTI, J. **Erosão na Amazônia: processos, modelos e balanço**. 1995. 127p. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba/SP, 1995.

NEVES JUNIOR, A.F. **Qualidade física de solos com horizonte antrópico (Terra Preta de Índio) na Amazônia Central**. 2008. 94p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba/SP, 2008.

NEU, V. **Influência da cobertura vegetal na ciclagem de nutrientes via solução do solo na região de Manaus-AM**. 2005. 93p. Dissertação - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba/SP, 2005.

NORVELL, W.A.; LINDSAY, W.L. Estimation of the concentration of  $Fe^{3+}$  and the  $(Fe^{3+})(OH)_3$  ion product from equilibria of EDTA in soil. **Soil Science Society of America Journal**, n. 46, p. 710-715, 1982.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV – DPS. 1999. 399p.

OADES, J.M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant and Soil**, The Hague, v. 76, p. 319-337, 1984.

PABST, E. Critérios de distinção entre Terra Preta e Latossolo na região de Belterra e os seus significados para discussão pedogenética. **B. Mus. Paranaense Emilio Goeldi, Série Antropol.**, 7:5-19, 1991.

PAKER, F.W. Methods of studying the concentration and composition of the soil solution. **Soil Science**, v. 12, p. 209-232, 1921.

PERRINGANIER, C.; SCHIAVON, M.; PORTAL, J.M.; BREUZIN, C.; BABUT, M. Porous cups for pesticides monitoring in soil solution - laboratory tests. **Chemosphere**, 26(12):2231-2239, 1993.

PICCOLO, M.C.; ANDREUX, F.; CERRI, C.C. Hydrochemistry of soil solution collected with tension-free lysimeters in native and cut-and-burned tropical rain forest in Central Amazonia. **Geochim. Brasil**, 8(1):51-63, 1994.

RAIJ, B.V. **Electrochemical properties of some Brazilian soils**. Ithaca, Tese (Ph.D.) - Cornell University. 1971. 144p.

REEVE, R.C.; DOERING, E.J. Sampling the soil solution for salinity appraisal. **Soil Science**, v. 99, n. 5, p. 339-344, 1965.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. 188p.

RESENDE, M.; CURTI, N.; KER, J.C.; REZENDE, S.B. **Mineralogia de solos brasileiros: Interpretação e aplicações**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2005. 192p.

RHOADES, J.D. Electrical conductivity methods for measuring and mapping soil salinity. **Advances in Agronomy**, v. 49, p. 232-242, 1993.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação**. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Viçosa/MG, 1999. 359p.

RICHARDS, L.A. A pressure-membrane extraction apparatus for soil solution. **Soil Science**, v. 51, n. 5, p. 377-386, 1941.

RODRIGUES, T.E. Solos da Amazônia. In: ALVAREZ V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F (Eds.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 19-60, 1996.

RODRIGUES, T.E.; SANTOS, P.L.; VALENTE, M.A.; BARRETO, W.O.; ARAÚJO, W.S.; MELO, M.E.C.C.M.; DURIEZ, M.A.M. **Levantamento semi-detalhado dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do campo experimental do Caldeirão do CPAA/Embrapa, Iranduba, Amazonas**. Embrapa - SNLCS, Rio de Janeiro/ RJ, 1991. 74p. (Boletim de Pesquisa, s/n).

ROSS, D.S.; BARTLETT, R.J. Effects of extraction methods and sample storage on properties of solutions obtained from forested spodosols. **Journal of Environmental Quality**, n. 19, p. 108-113, 1990.

SANTOS, A.; RIBEIRO, M.N. Nitrogênio na água do solo do ecossistema campina Amazônica. **Acta Amazonica**, v. 5, p. 173-182, 1975.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 5 ed. 2005. 92p.

SCHROTH, G.; ELIAS, M.E.A.; UGUEN, K.; SEIXAS, R.; ZECH, W. Nutrient fluxes in rainfall, throughfall and stemflow in tree-based land use systems and spontaneous tree vegetation of central Amazonia. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 87, n. 1, p. 37-49, 2001.

SILVA, E.F.F.; DUARTE, S.N.; COELHO, R.D. Salinização dos solos cultivados sob ambiente protegido no estado de São Paulo. In: FOLEGATTI, M.V. (Ed.). **Fertirrigação: citrus, flores e hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, p. 267-277, 1999.

SILVA, F.W.R.; LIMA, H.N.; TEIXEIRA, W.G.; MOTTA, M.B.; MACEDO, R.S. Caracterização química e mineralogia de solos antrópicos (Terras Pretas de Índio) na Amazônia Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35(3), p. 673-681, 2011.

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

SJOBERG, A. Phosphate analysis of anthropic soils. **J. Field Archaeology**, v. 3, p. 447-454, 1976.

SODRÉ, F.F.; LENZI, E. Utilização de modelos físico-químicos de adsorção no estudo do comportamento do cobre em solos argilosos. **Química Nova**, v. 24, n. 3, p. 324-330, 2001.

SOMBROEK, W.G. **Amazonian soils. A reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon Region**. Wageningen: Centre for Agricultural Publication Documentation. 1966. 292p.

SOUSA, V.F. **Níveis de irrigação e doses de potássio aplicadas via fertirrigação por gotejamento no maracujazeiro amarelo**. 2000. 178 p. Tese (Programa de Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba/SP, 2000.

STALLARD, R.F.; EDMOND, J.M. Geochemistry of the Amazon. 1. Precipitation chemistry and the marine contribution to the dissolved-load at the time of peak discharge. **Journal of Geophysical Research-Oceans and Atmospheres**, v. 86, n. 10, p. 9844-9858, 1981.

SPERA, S.T.; DENARDIN, J.E.; ESCOSTEGUY, P.A.V.; DOS SANTOS, H.P.; FIGUEROA, E.A. Dispersão de argila em microagregados de solo incubado com calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:2613-2620, 2008.

TEIXEIRA, L.B.; BASTOS, J.B. **Nutrientes no solo de floresta primária e pastagem de Brachiaria humidicola na Amazônia central**. Embrapa - CPATU, 1989. 69p.

TEIXEIRA, W.G. **Land use effects on soil physical and hydraulic properties of a clayey Ferralsol in the Central Amazon.** 2001. 255p. Tese. University of Bayreuth. Bayreuth. 2001.

TEIXEIRA, W.G. Terra Preta de Índio: fatos e mitos dos solos antrópicos da Amazônia. In: JUNIOR, A.O.; CAMPOS, R.M.V.B. (Eds.). **Fertbio: desafios para o uso do solo com eficiência e qualidade ambiental.** Londrina: Embrapa – Soja. **Anais ...** p. 1-11, 2008.

TEIXEIRA, W.G.; MARTINS, G.C. Soil physical characterization. In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B.; WOODS, W.I. (Eds.). **Amazonian Dark Earth: origin, properties and management.** Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 271-286, 2003.

TEIXEIRA, W.G.; MARTINS, G.C.; LIMA, H.N. An Amazonian Dark Earth profile description from a site located in the floodplain (várzea) in the Brazilian Amazon. In: RIOS, G.M.; CAMARGO, S.M.; CALVO, C.F. (Eds.). **Pueblos y paisajes antiguos de la selva Amazónica.** Bogotá: Universidad Nacional e Colombia/Taracaxum, p. 293-300, 2006.

TEIXEIRA, W.G.; ARRUDA, W.; SHINZATO, E.; MACEDO, R.S.; MARTINS, G. C.; LIMA, H.N.; RODRIGUES, T.E. Solos do Amazonas. In: MANSINI, M.A.; MARMOS, M.J.L. (Eds.) **Geodiversidade do Amazonas.** Rio de Janeiro: Serviço Geológico do Brasil - CPRM, p. 71-86, 2010a.

TEIXEIRA, W.G.; MARTINS, G.C.; MACEDO, R.S.; NEVES JUNIOR, A.F.; MOREIRA, A.; BENITES, V.M.; STEINER, C. As propriedades físicas e hídricas dos horizontes Antrópicos das Terras Pretas de Índio na Amazônia Central. In: TEIXEIRA et al. (Eds). **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas.** Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 1 ed., p. 225-241, 2010b.

USDA. Soil Survey Staff. **Soil Taxonomy – a basic system of soil classification for making and interpreting soil survey.** 2nd ed. Washington: United States Department of Agriculture- Natural Resource Conservation Service, 1999. 871p.

WAGNER, G.H. Use of porous ceramic cups to sample soil water within the profile. **Soil Science**, v. 94, p. 379-387, 1962.

WOLT, J.D.; RHODES, G.N.; GRAVEEL, J.G. et al. Activity of imazaquin in soil solution as affected by incorporated wheat (*Triticum aestivum*) straw. **Weed Science**, v. 37, p. 254-258, 1989.

WOLT, J.D. Obtaining soil solution: laboratory methods. In: WOLT, J.D. (Ed.). **Soil solution chemistry: applications to environmental science and agriculture.** New York: John Wiley; Sons, p. 95-120, 1994.

WOODS, W.I. Development of anthrosol research. In: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B.; WOODS, W.I. (Eds.). **Amazonian Dark Earths: origin, properties and management**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 3-14, 2003.

WOODS, W.I.; TEIXEIRA, W.G.; LEHMANN, J.; STEINER, C.; WINKLERPRINS, A.M.G.A.; REBELLATO, L. (Eds.). **Amazonian Dark Earths: Win Sombroek's vision**. Springer: Berlin. 2009.

VIEIRA, L.S.; SANTOS, P.C.T. **Amazônia: seus solos e outros recursos naturais**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1987. 416p.

VITOUSEK, P.M.; SANFORO, Jr.R.L. Nutrient cycling in moist tropical forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, 17, p. 137-167, 1986.

ZECH, W.; HAUMEIER, L.; HEMPFLING, R. Ecological aspects of soil organic matter in tropical land use. In: McCARTHY, P.; CLAPP, C.E.; MALCOLM, R.L. (Eds.). **Humic substances in soil and crop sciences: selected readings**. Bloom: Madison, Wis., American Society of Agronomy and soil Science Society of America, 187-202, 1990.