

### **Fracionamento Físico da Matéria Orgânica do Solo (MOS)**

As análises das amostras foram realizadas no Laboratório Temático de Solos e Plantas (LTSP) do INPA, seguindo a metodologia proposta por Sohi et al., (2001) utilizando amostras de solo TFSA, com as devidas modificações para solos tropicais (Roscoe & Machado, 2002; Campos, 2003), já que se traduz como um método de grande aplicação.

### **Fracionamento Densimétrico**

Foram pesados 5g de TFSA em frascos de centrífuga de 50 mL, com três repetições por amostra, adicionado-se a cada uma 35mL de iodeto de sódio (NaI,  $d=1,80\text{g cm}^{-3}$ ). Os frascos foram agitados manualmente por 30 segundos de maneira que as frações orgânicas menos densas ficassem na superfície da solução e houvesse uma dispersão dos agregados instáveis. Posteriormente, as amostras (solo + NaI) foram centrifugadas por 30 minutos para uma sedimentação das partículas minerais do solo no fundo do frasco, deixando-as em descanso por 24 horas para uma melhor sedimentação. A fração orgânica sobrenadante presente na solução (fração leve livre) foi succionada juntamente com a solução de NaI e, imediatamente, separada por filtração a vácuo (Sistema Asséptico Stérifil, 47 mm – Millipore) com filtros de fibra de vidro (47mm de diâmetro; 2 micros – Whatman tipo GF/A, lote 1820047), previamente pesados. A solução de NaI filtrada retornou para o frasco contendo a amostra de solo remanescente. As frações coletadas foram lavadas com água destilada, visando eliminar o excesso de NaI presente na fração e no filtro. A fração orgânica, juntamente com o filtro, foi, posteriormente, seca a 65°C, pesada e macerada em cadinho de porcelana (50milímetro de diâmetro) até atingir a fina granulometria de talco, peneira de malha 212  $\mu\text{m}$ .

Após a remoção da fração leve livre (FLL), foi extraída a fração leve intra-agregado (FLI) ou oclusa (Figura 9). Aplicou-se vibração com emprego de ultra-som (modelo 250/450 Sonifier) por 3 minutos com pulsações de intervalo de um segundo, a uma energia

de  $400 \text{ J mL}^{-1}$  na solução de NaI. Segundo Roscoe & Buurman (2000), níveis de energia entre  $260$  e  $275 \text{ J mL}^{-1}$  são suficientes para proporcionar dispersão das amostras de solo.

**A****Peso da fração FLL****B****Peso da fração FLI**

Figura 9. Diferentes pesos obtidos nas frações FLL (A) e FLI (B)

Após a sonificação, procedeu-se a centrifugação e as amostras foram novamente deixadas em descanso por 36 horas, sendo a FLI coletada em filtros, seca, pesada e moída, da mesma maneira que foi realizada para a fração leve livre. Foram obtidas três replicatas de laboratório para cada fração, sendo estas reunidas em uma única amostra, para determinação total de carbono e nitrogênio por via seca (SOHI et. al. 2001). Todo o NaI utilizado durante o fracionamento densimétrico foi recuperado e limpo com carvão ativo, que é utilizado pra eliminar todo o carbono contido na solução, para, depois do ajuste da densidade a  $1,80 \text{ g Kg}^{-3}$ , ser reutilizado. As análises do carbono e nitrogênio totais das frações foram realizadas em analisador Fisons instruments NA 1500 NC, utilizando-se

aproximadamente 7 mg de material, previamente macerado em almofariz até atingirem a fina granulometria de talco, visando a redução de erros associados ao tamanho de grãos. A digestão do material foi feita em câmara de combustão fechada a 920°C

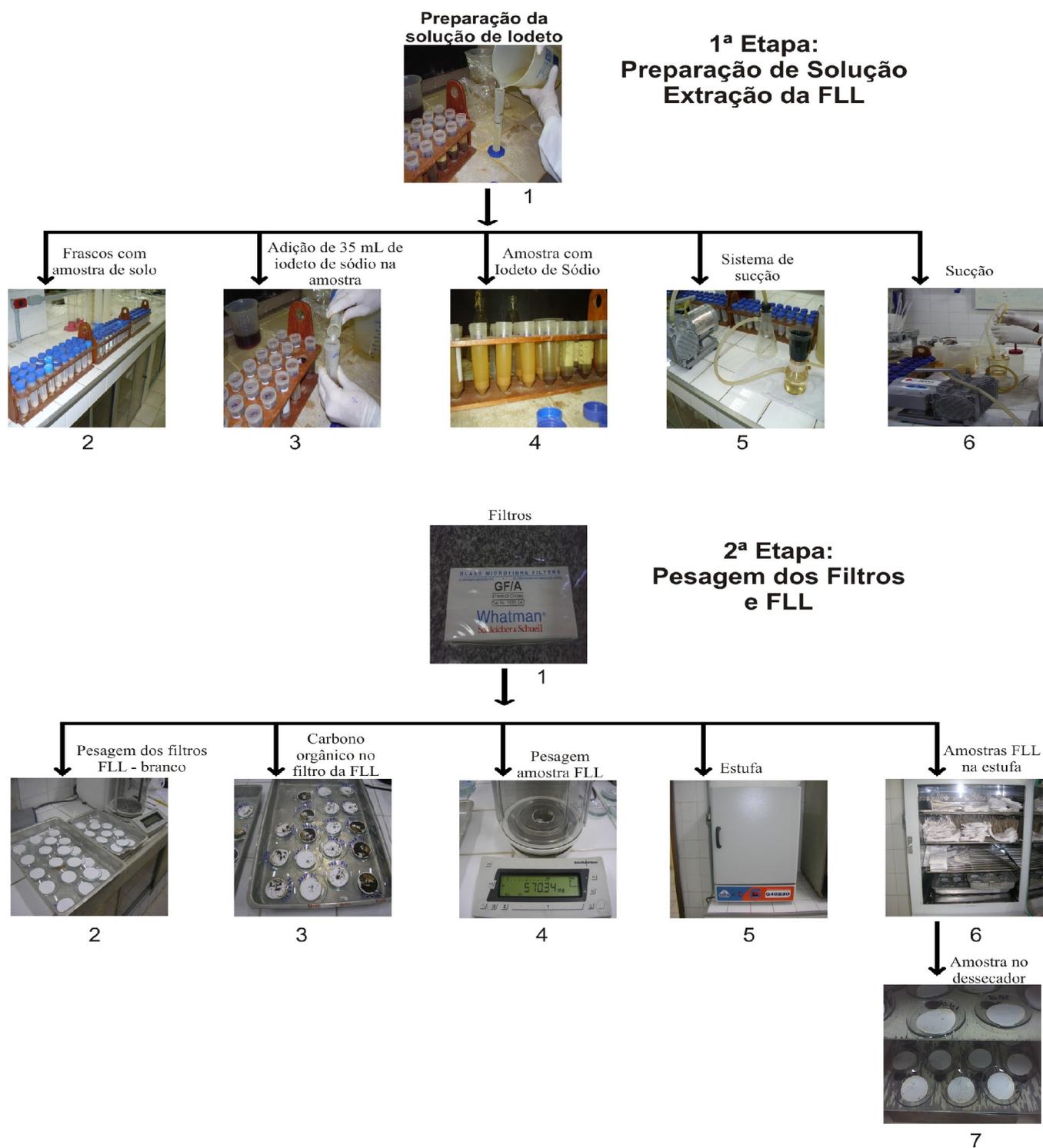


Figura 10. Esquema demonstrativo do fracionamento da matéria orgânica do solo da fração leve livre (FLL)

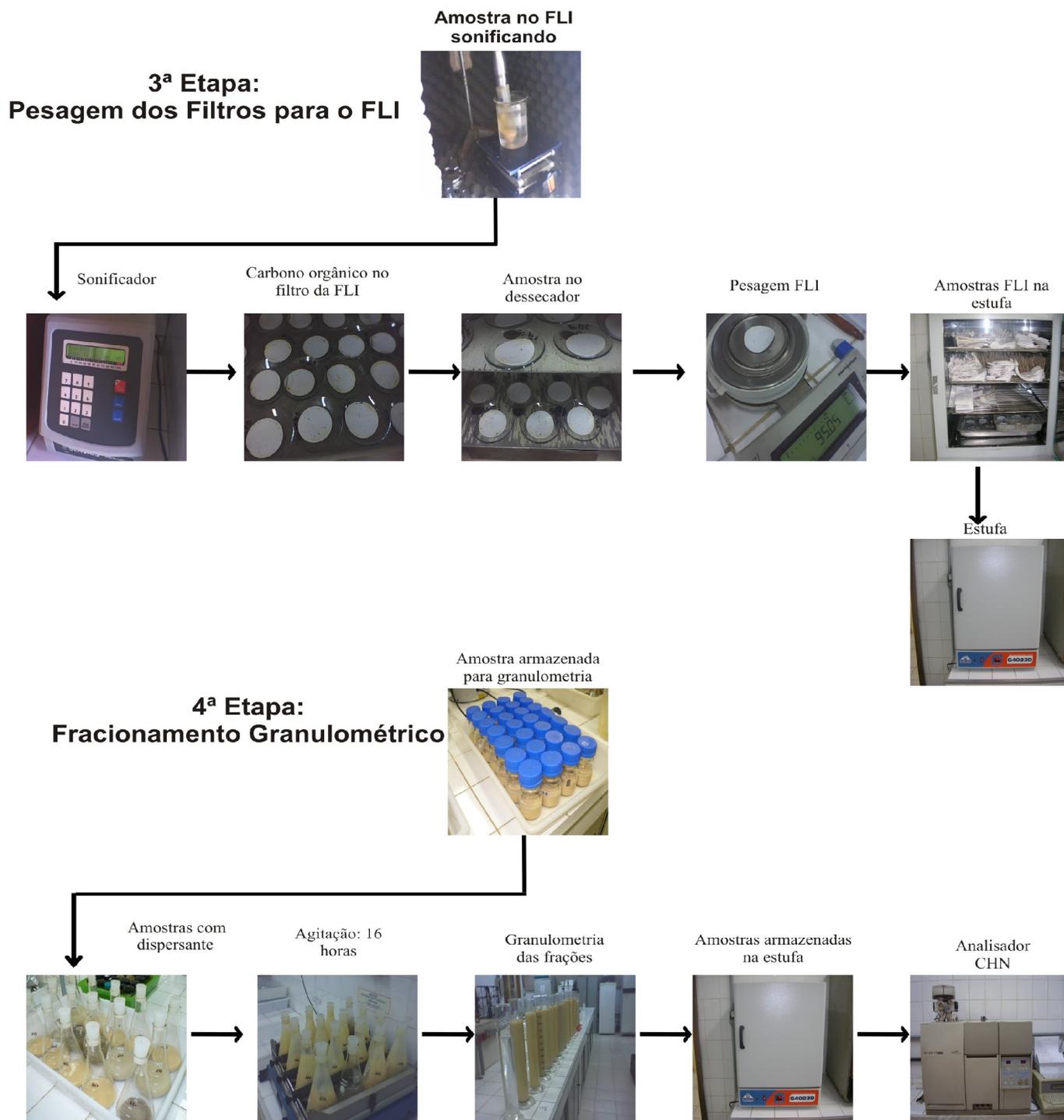


Figura 11. Esquema demonstrativo do fracionamento da matéria orgânica do solo da fração leve intra agregada (FLI) e fracionamento pesado nas frações argila, areia e silte.

### **Fracionamento Granulométrico em Latossolos Amarelos na Amazônia Central**

O fracionamento da matéria orgânica em solos argilosos a muito argilosos característicos na Amazônia Central exigiu uma adaptação na metodologia proposto por Gavinelli et al. (1995) modificada para solos tropicais (Machado, 2002; Roscoe, Machado, 2002; Campos, 2003), em função da reduzida dispersão da argila (fracionamento pesado). Adicionaram-se às amostras 20 mL de pirofosfato de sódio ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ), a uma concentração de 50 g/litro, correspondente a 1 g de pirofosfato de sódio e 300 mL de água destilada, agitando-se durante 16 horas, a uma rotação de 250 rpm, em agitador horizontal.

Problemas com a utilização do Iodeto de Sódio são relatados por alguns autores quanto à recuperação mais baixa de carbono lábil, não havendo eficiência na recuperação da matéria orgânica (Vieira, et al., 2007), como já evidenciado no estudo de Shang & Tiessen (2001).

Resultados recentes indicaram a melhor eficiência do politungstato de sódio ao invés do Iodeto de sódio em promover a recuperação da fração da matéria orgânica do solo (Conceição, 2006). Conceição (2006) verificou que na densidade  $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ , o uso da solução de politungstato de sódio resultou num aumento de 176-726% do C quantificado na fração leve oclusa quando comparado com a utilização do Iodeto de Sódio.

### **Fracionamento Granulométrico**

A matéria orgânica associada à areia ( $>53\mu\text{m}$ ) foi obtida por peneiramento úmido e aquela associada ao silte ( $2-53\mu\text{m}$ ) e argila ( $0-2\mu\text{m}$ ) foi determinada a partir da coleta de alíquotas das frações granulométricas de ( $0-2\mu\text{m}$ ) e ( $2-53\mu\text{m}$ ), que foram separadas por sedimentação.

Para obtenção da areia total, a amostra foi passada em peneira de 0,053 mm. As frações (Argila+Silte) foram obtidas a partir do material peneirado, armazenado no receptor

abaixo da peneira de 0,053 mm, sendo transferido para uma proveta de 1000 mL, homogeneizando-se através de agitação mecânica com auxílio de um bastão para a pipetagem de 100 mL da fração (Argila+Silte), inserindo-se a pipeta a 10 cm abaixo da superfície da suspensão, com sucção contínua. Com o auxílio de um termômetro, mediu-se a T°C do líquido, para a determinação do tempo de sedimentação da fração. A suspensão pipetada, após 4'15", foi transferida para um béquer de vidro de 250 mL, levada à estufa para secagem e posterior pesagem. Com auxílio de uma espátula inox, retirou-se o material do fundo do béquer, sendo separado, identificado, pesado e seco. Após 3'30" de repouso, a fração argila foi retirada, pipetando-se novamente 100 mL da suspensão, com a pipeta inserida a 5 cm abaixo da superfície da suspensão. A alíquota foi transferida para béquer de vidro, secada e pesada.

Após a obtenção de cada fração foi colocada no dissecador, pesada, colocada em frascos de vidro previamente identificados e mantidos em estufa a 60°C para evitar a absorção de umidade, em seguida sendo triturada para obtenção de pó e analisada por via seca no auto analisador CHN.

### **Carbono Orgânico Total e Nitrogênio Total**

As análises do carbono e nitrogênio totais e das frações dos solos foram realizadas em analisador Fisons instruments NA 1500 NC, utilizando-se aproximadamente 25-30 mg de material, previamente macerado em almofariz até atingirem a fina granulometria de talco, peneira de malha 212 µm, visando a redução de erros associados ao tamanho de grãos.

### **Estoque de carbono do solo e nas frações físicas**

Após os fracionamentos físicos foram obtidas cinco frações da matéria orgânica: fração leve livre (FLL), fração leve intra-agregado (FLIA), fração areia (FA), fração silte (FS) e fração argila (FArg).

Os estoques de carbono (ECs) dos solos ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) e estoque de carbono acumulado por camadas (ECc) ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) em cada fração orgânica foram obtidos multiplicando a concentração de C ( $\text{g kg}^{-1}$ ), densidade do solo na camada estudada ( $\text{kg m}^{-3}$ ) e espessura (h) em centímetros (cm), conforme equação (1).

$$EC (\text{Mg ha}^{-1}) = C (\text{g kg}^{-1}) \times \rho (\text{kg m}^{-3}) \times h (\text{cm}) \quad (\text{Equação 1})$$

Procedeu-se ainda o cálculo dos estoques de carbono por camadas de solo (Equação 2) (0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100, 100-140, 140-160, 160-200 cm), obtidos a partir do fracionamento da matéria orgânica (FMOS). A estratificação da MOS no perfil de solo é um parâmetro indicativo da qualidade do solo (Franzluebbers, 2002).

Esses estoques foram obtidos multiplicando a concentração de C ( $\text{g kg}^{-1}$ ), densidade do solo na camada estudada ( $\text{kg m}^{-3}$ ) e espessura (h) em centímetros (cm).

$$EC_{fmos} = \sum_{0cm}^{5cm} Ef_1 + \sum_{5cm}^{10cm} ECf_2 + \sum_{10cm}^{20cm} ECf_3 + \sum_{20cm}^{40cm} ECf_4 + \dots \sum_N^{N+20} ECf_N \quad (\text{Equação 2})$$

Estoque de carbono por perfil, em cada fração orgânica, (ECp) ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) foram obtidos somando-se todos os estoques de carbono contido em todas as camadas de solo (Equação 3):

$$ECp = \sum_{Ncm}^{N+5cm; N+10cm; N+20cm} EpFLL + EpFLI + EpAreia + EpArgila + Epsilte \quad (\text{Equação 3})$$

### **Estabilidade de agregados**

A análise de estabilidade de agregado foi realizada no Laboratório de Física de Solo da Embrapa Amazônia Ocidental (Manaus-AM), seguindo a metodologia proposta por

Kemper & Chepil (1965) modificado segundo EMBRAPA (1997). Amostras de solos foram coletadas na superfície do solo 0-10 cm, ao longo do gradiente topográfico. Em cada posição foram coletadas 6 amostras de solo, a exceção do baixo em decorrência da estrutura do solo não formar agregados. As amostras deformadas foram colocadas para secar ao ar, durante um período de 24 horas, sendo destorroadas, quebrando-se os agregados maiores em tamanhos menores. A seguir a amostra foi passada em duas peneiras, uma de 4,0 mm e outra de 2,0 mm. Após o processo do peneiramento, retirou-se uma quantidade de 20 g para a realização do teste de estabilidade de agregados. Posteriormente, colocou-se as amostras em placa de vidro, umedecendo-as durante um período de 24 h .

Umedecidas, as amostras de solo foram colocadas na peneira de 2,0 mm, composta por um jogo de outras 4 peneiras: 1,0, 0,5, 0,25 e 0,106 mm. Colocou-se as peneiras, empilhadas, no aparelho vertical. As amostras foram agitadas durante 15 minutos (5D). Concluído a etapa de agitação, o conteúdo de cada peneira foi transferido para um recipiente, conduzindo a amostra à estufa a 105°C durante 24 horas. O método aplicado está baseado na quantificação e distribuição do tamanho dos agregados que são estáveis em água, considerando os que não sofrem desintegração pela tamisação.

A estabilidade de agregados é expressa pelo diâmetro médio geométrico (DMG), obtido pela equação:

$$DMG = \exp \left\{ \frac{\sum p_i \ln d_i}{\sum p_i} \right\} \text{ sendo:}$$

$p_i$  = peso dos agregados retidos em cada peneira utilizada em gramas;

$\ln d_i$  = logaritmo natural do diâmetro médio das classes de peneiras utilizadas (mm)

### **Análises Estatísticas dos Dados**

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado. Para verificar diferenças significativas nas diferentes frações do solo dos diferentes sistemas de uso da terra foram

realizadas as análises de normalidade e de variâncias, aplicando-se o Teste F nas réplicas de campo e de laboratório. Para as variáveis cujo teste F foi significativo, comparou-se às médias estudadas utilizando-se o teste de Tukey. As análises estatísticas foram realizadas pelo uso do Programa Estatístico Systat 10.1. As médias foram comparadas através do teste de Tukey HSD.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

##### **Atributos do solo nos diferentes sistemas de uso da terra: Físicos e químicos**

A Tabela 2 apresenta os atributos físicos e químicos dos solos nos diferentes sistemas de uso da terra: Floresta, Pastagem, Capoeira e SAF. Os solos dos ambientes estudados são classificados como EMBRAPA (2006) como: Latossolos sendo: Latossolo Amarelo distrófico textura muito argilosa (LAd) (Floresta e Pastagem), Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico textura muito argilosa (Capoeira e SAF).

Os teores de carbono, MO, fósforo e soma de bases (SB) foram superiores na superfície decrescendo em profundidade, sendo o seu maior conteúdo encontrado no(a): SAF > Pastagem > Capoeira > Floresta. A incorporação de resíduos vegetais no solo, refletindo nos maiores valores de fósforo e soma de bases na superfície. Os níveis de  $\text{Na}^{+1}$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^{+1}$  e P (Tabela 2) são baixos resultantes do intemperismo sobre esta região (Jordan, 1986).

A capacidade de troca de cátions (T) decresceu em profundidade em todos os perfis (Tabela 2). Ainda na Tabela 2, observa-se baixa saturação por base (V%) e alta saturação por alumínio (m), fato comum em solos originados desses sedimentos argilosos. Os maiores teores de fósforo e potássio foram observados nos perfis da SAF > Capoeira > Pastagem > Floresta, provavelmente, em função da cobertura vegetal e intensidade de raízes. Um das fontes de potássio são os exudados de raízes em sistemas cobertos por vegetação (Stallard & Edmond, 1981). O ânion fosfato também tem a sua origem a partir de

componentes terrestres, derivados de partículas biológicas, como exudado de raízes e reciclagem da serrapilheira (Berner & Berner, 1987).

O pH H<sub>2</sub>O variou de 3,6 a 5,4, classificando as áreas como ácidas. Apesar da existência de grandes áreas potencialmente agricultáveis, os solos da Amazônia, na sua maior parte, são ácidos, com baixa capacidade de troca catiônica e, conseqüentemente, baixa fertilidade (Moreira e Malavolta, 2002).

### **Estoques totais de carbono e nitrogênio**

Os teores e estoques totais de carbono (COT) e nitrogênio (NiT) estão contidos na Tabela 1. Teores mais elevados de carbono foram obtidos a 5 cm de profundidade, sobressaindo-se o ambiente de Capoeira (5,45%) > SAF (5,42%) > Pastagem (4,55%) > Floresta (3,38%). A mesma seqüência foi seguida quanto aos teores de NiT, sendo de: 0,33%, 0,30%, 0,31% e 0,29%, respectivamente, a exceção da Pastagem e Floresta. Ocorreu decréscimo do carbono e nitrogênio até 2m profundidade obtendo-se um teor médio de 0,33% e 0,03%, respectivamente.

Os estoques de carbono (EC, Mgha<sup>-1</sup>) e nitrogênio (EN, Mgha<sup>-1</sup>) foram mais elevados nos ambientes de SAF > Capoeira > Pastagem > Floresta, estando associados a espessura do horizonte pedológico e densidade do solo em cada camada. Em todos as áreas a densidade do solo aumentou com a profundidade (Tabela 1), variando de 1,04 a 1,24 g cm<sup>-3</sup> (Floresta), 1,10 a 1,21 g cm<sup>-3</sup> (Pastagem), 1,06 a 1,31 g cm<sup>-3</sup> (Capoeira) e de 1,15 a 1,32 g.cm<sup>-3</sup> (SAF), sendo as densidades mais elevadas encontradas nos dois últimos sistemas de uso da terra.

A área de pastagem apresentou baixa densidade do solo na superfície (Tabela 1), refletindo que os maiores estoques de carbono na superfície desses solos é devido a atuação das raízes das gramíneas. Não era esperado encontrar baixa densidade do solo (Tabela 1) na superfície da área de pastagem, sendo explicado em função do manejo que é submetido este

ambiente, através do pastejo rotativo dos animais. Cadisch et al (1998) ressaltam o potencial da pastagem em seqüestrar carbono caso haja um manejo adequado.

Aumentos do estoque superficial de carbono em pastagens foi encontrado também em outras pastagens com mais de cinco anos no sudoeste da Amazônia (Feigl, 1995), provavelmente pela maior alocação da produtividade primária bruta nas camadas superficiais do solos em áreas com *Brachiaria* spp (Trumbore et al., 1995). Outras possibilidades são inclusão de raízes muito finas no processo de análise do solo; e aumento de carbono recalcitrante na forma de micro-carvões nas pastagens, devido a queimadas, ficando este carbono inacessível para os microorganismos do solo responsáveis pela oxidação do carbono (Salimon et al., 2007). Desjardins et al. (2004) estudando uma cronossequência na Amazônia descreve os mais baixos índices de carbono ocorreram na floresta e os mais elevados estiveram nos pastos mais velhos.

A relação C:N encontrada (Tabela 1) foi variou de  $9,176 \pm 0,9$  a  $17,83 \pm 1,6$ , sendo: de  $10,95 \pm 0,2$  a  $14,51 \pm 2,0$  (Floresta),  $9,76 \pm 0,9$  a  $15,45 \pm 0,6$  (Pastagem),  $11,14 \pm 0,5$  a  $16,43 \pm 0,9$  (Capoeira) e  $11,73 \pm 0,3$  a  $17,83 \pm 1,6$  (SAF). Esses resultados estão adequados para solos do tipo Latossolos da Amazônia. Esses solos apresentam relação C:N variando entre 11,7 a 14,6, na superfície do solo (Neu, 2005). Os valores de C:N aqui encontrados, acima dessa faixa, principalmente na superfície do SAF e Capoeira são em função do enriquecimento de carbono orgânico (Tabela 1). Um outro fator que contribui para o aumento da relação C:N nesses solos são as baixas concentração de nitrogênio.

Os teores de argila dos ambientes variaram entre  $68,65 \pm 0,4\%$  a  $92,15 \pm 0,2\%$ , classificando esses solos como argilosos a muito argilosos (Embrapa, 1999). Os solos mais argilosos estão localizados na área da pastagem seguido do SAF, Capoeira e Floresta.

### **Estabilidade de agregados dos solos**

A Figura 12 apresenta os valores médios da massa e agregados em diferentes classes de tamanhos nos solos dos diferentes ambientes estudados. Verifica-se que a maior

concentração de agregados estáveis em água ocorreu na classe de diâmetro > 2 mm seguindo a seqüência: SAF (17,82 g) > Capoeira (16,08 g) > Pastagem (14,47) > Floresta (14,30 g).

Esses resultados demonstram a capacidade desses sistemas em promover estruturação do solo, ocasionando aumento no COS. As variações nos teores de COS (Tabela 1) foram próximas a agregação do solo (Figura 17), Capoeira (5,45%) > SAF (5,42%) > Pastagem (4,55%) > Floresta (3,38%). Aumento na agregação concomitantemente com aumentos no COS foi observado em sistemas de cobertura de solo conservacionistas (Paustian et al., 2000; Six et al., 2000), enquanto que a utilização de solo que induzem a perdas do enriquecimento de carbono nos macroagregados e um ganho de carbono nos microagregados.

Mutuo et al., (2005) demonstram que a conversão de Floresta – SAF reduz perdas de carbono no solo e promove agregação do solo, estruturando o solo de áreas degradadas, confirmando os resultados encontrados neste estudo (Figura 12 e Tabela 1). Não houve diferença significativa entre os agregados da floresta e pastagem (Figura 1), em decorrência da grande incidência de raízes finas presentes nas camadas de 0-10 cm.

O diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados variou de 2,19 a 3,75 mm no solo (Figura 13). O DMG seguiu a mesma tendência dos agregados retidos, sendo: SAF (3,83 mm) > Capoeira (3,75 mm) > Floresta (3,20 mm) > Pastagem (2,19 mm). A maior eficiência na agregação nesses solos pode estar relacionado com a maior densidade das raízes, potencializando uma proteção física e o acúmulo de matéria orgânica no solo (Foster, 1994).

Estudos demonstram que a redução do carbono orgânico pode estar relacionado à redução da estabilidade de agregados (Pinheiro et al., 2004), favorecendo a erosão e empobrecimento do solo em nutrientes.