



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA- CAMPUS- IX  
DCH- DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS HUMANAS  
COLEGIADO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA**

**THAIMARA RAMOS DE SOUZA**

**ESTOQUE E FRACIONAMENTO QUÍMICO DO CARBONO EM  
ÁREAS SOB DIFERENTES USOS DO SOLO NO CERRADO**

**BARREIRAS- BA  
2019**

**THAIMARA RAMOS DE SOUZA**

**ESTOQUE E FRACIONAMENTO QUÍMICO DO CARBONO EM  
ÁREAS SOB DIFERENTES USOS DO SOLO NO CERRADO**

**Monografia apresentada à Universidade do Estado  
da Bahia - UNEB, como requisito à obtenção do grau  
de Bacharel em Engenharia Agrônômica**

**Orientador: Dr. Adilson Alves Costa.**

**BARREIRAS-BA  
2019**

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA- CAMPUS- IX  
DCH- DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS HUMANAS  
COLEGIADO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA**

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

THAIMARA RAMOS DE SOUZA

**ESTOQUE E FRACIONAMENTO QUÍMICO DO CARBONO EM  
ÁREAS SOB DIFERENTES USOS DO SOLO NO CERRADO**

A Banca Examinadora, abaixo identificada, aprova a monografia apresentada à Universidade do Estado da Bahia como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Agrônômica:

---

Adilson Alves Costa  
Orientador

---

Jorge da Silva Júnior  
Examinador

---

Alberto do Nascimento Silva  
Examinador

Barreiras, 23 de setembro de 2019

Dedico este trabalho e o que ele representa para mim a quem dedico a minha vida: Deus.  
E à minha querida mãe, amiga e fiel companheira pelo apoio e incentivo durante toda a elaboração deste trabalho e por me ensinar que todo título desse mundo está abaixo do significado de servir a Deus.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, fundador de toda ciência, sabedoria e inteligência, pelo dom da vida, pela consciência absoluta que Ele é a base de tudo e pelas forças para estudar nas madrugadas e concluir este trabalho.

Agradeço aos meus primeiros orientadores, que foram a minha mãe e o meu pai, responsáveis pelas minhas primeiras lições de vida. Às minhas irmãs e ao meu cunhado por todo apoio, amizade e companheirismo.

Ao Professor Dr. Adilson Alves pela orientação dedicada com toda paciência, pelas correções, sugestões e incentivo. Com seu exemplo de dedicação à ciência, o conhecimento transmitido foi indispensável a esta monografia.

A todos os professores desta instituição pelo conhecimento compartilhado ao longo dos anos.

Ao meu noivo, pelo companheirismo, motivação e paciência durante todo esse trabalho.

A Ângela e Mylena, amigas que me abraçaram nas horas que mais precisei e pelo trabalho em equipe.

Enfim, muitas pessoas foram indispensáveis para a realização deste trabalho colaborando com suas críticas e sugestões e a todas devo meus sinceros agradecimentos.

“É nosso dever proteger o maior patrimônio nacional, pois a nação que destrói o seu solo, destrói a si mesma.”

Theodore Roosevelt

## RESUMO

A substituição do Cerrado Nativo por áreas cultivadas alteram a qualidade e dinâmica da matéria orgânica do solo. Nesse sentido, o presente estudo objetivou avaliar as alterações provocadas por diferentes formas de uso do solo no Cerrado Nativo sobre os teores e estoques de carbono, assim como em suas frações húmicas (Ácido Húmico, Ácido Fúlvico e Humina) de um Neossolo. Os ambientes selecionados para as avaliações constaram de área sob vegetação nativa de cerrado *strict sensu* (ACN); área sob plantio convencional de banana (APB); área com sistema agroflorestal com plantio de cacau, manga e banana (SAF); e área sob plantio de eucalipto com 7 anos (EUC). As amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 cm para a determinação dos teores e estoques de carbono orgânico total (COT), carbono das frações húmicas, os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, considerando um delineamento inteiramente casualizado, comparados por meio de teste Tuckey a 5% de probabilidade. O sistema de EUC promoveu maiores estoques de carbono orgânico total em todas as camadas de solo avaliadas, pois apresentou a menores perdas nos teores de C e maiores estoques deste, estando a matéria orgânica mais protegida em relação aos demais tratamentos. A AEU e SAF se mostraram eficientes em acumular matéria orgânica na profundidade de até 30 cm, devido o aporte de matéria orgânica, resíduos vegetais na superfície do solo. Através do fracionamento químico, observou-se que a maior parte da MO do solo encontram-se armazenada na forma de HUM.

**Palavras-Chave:** Carbono Orgânico, Frações químicas, Matéria Orgânica do solo.

## ABSTRACT

The replacement of native Cerrado by cultivated areas alters the quality and dynamics of soil organic matter. In this sense, the present study aimed to evaluate the changes caused by different forms of land use in the Native Cerrado on carbon contents and stocks, as well as their humic fractions (Humic Acid, Fulvic Acid and Humina) of a neosol. The environments selected for the evaluations consisted of an area under native vegetation of cerrado strict sensu (ACN); area under conventional banana planting (APB); area with agroforestry system with planting of cocoa, mango and banana (SAF); and 7-year-old eucalyptus planted area (EUC). Soil samples were collected in the 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 cm layers to determine the contents and stocks of total organic carbon (TOC), carbon of humic fractions, the obtained results were submitted. the analysis of variance, considering a completely randomized design, compared by Tuckey test at 5% probability. The EUC system promoted higher total organic carbon stocks in all evaluated soil layers, as it presented the lowest losses in C contents and higher stocks, being the organic matter more protected compared to the other treatments. The AEU and SAF proved to be efficient in accumulating organic matter at a depth of up to 30 cm, due to the input of organic matter, vegetal residues on the soil surface. Through chemical fractionation, it was observed that most of the soil OM are stored as HUM.

**Keywords:** Organic Carbon, Chemical Fractions, Soil Organic Matter.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Amostra indeformada (A) e amostra deformada sendo seca ao ar (B).....	21
<b>Figura 2.</b> Amostra indeformada para posterior determinação em laboratório da densidade do solo (A) e análise de granulometria sendo feita (B).....	23
<b>Figura 3.</b> Amostra sendo macerada (A) e pesagem da amostra no tubo de centrifuga (B).....	26
<b>Figura 4.</b> Adicionado a solução de NaOH colocou-se na centrifuga e após 24 horas de descanso realizou-se a centrifugação.....	26
<b>Figura 5.</b> Separação do extrato alcalino.....	27
<b>Figura 6.</b> Acidificação do extrato alcalino (A), Ph acidificado (B).....	28
<b>Figura 7.</b> Processo de decantação – (A) Amostra após adição do ácido sulfúrico; (A) Início da floculação das partículas da fração ácido húmico; (B) Separação das frações ácido húmico e fúlvico.....	28
<b>Figura 8.</b> Transferência do precipitado (solo) para o becker, após secos armazenados no dessecador (A), material sendo retirado e em seguida transferido para o cadinho (C).....	29
<b>Figura 9.</b> Separação das frações por filtração.....	29
<b>Figura 10.</b> Separação das frações húmicas após filtração.....	30
<b>Figura 11.</b> Solo seco e macerado pronto para a determinação da humina (A e B).....	31
<b>Figura 12.</b> Preparo das amostras por digestão.....	31
<b>Figura 13.</b> Amostras com adição de dicromato após a digestão.....	33
<b>Figura 14.</b> Mudanças da coloração após a titulação. A mudança de cor no início variou de laranja-amarelado (A) a verde escuro (B), mudando para um cinza e então para um vermelho vinho no ponto final de titulação.....	33
<b>Figura 15.</b> Amostras com ponto final de titulação.....	34
<b>Figura 16.</b> Preparo das frações ácido húmico (A) e fúlvico (B) para digestão.....	34
<b>Figura 17.</b> Adição do dicromato de potássio, ácido sulfúrico e da solução da amostra após a digestão.....	35
<b>Figura 18.</b> Coloração do extrato após a digestão.....	35
<b>Figura 19.</b> Mudança de coloração durante a titulação e ao final da titulação.....	36

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Localização das áreas estudadas sob diferentes formas de uso do solo no Oeste da Bahia.....	20
<b>Tabela 2.</b> Valores de pH em água, fósforo (P), cátions trocáveis (K, Ca e Mg), alumínio (Al), capacidade de troca catiônica (CTC), soma das bases (SB) e saturação por bases (V), nos diferentes usos dos solos do Cerrado no Oeste da Bahia.....	22
<b>Tabela 3.</b> Valores médios de Areia, silte e argila ( $\text{g.kg}^{-1}$ ) Ds do solo nas diferentes profundidades.....	23
<b>Tabela 4.</b> Valores médios de teores de carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono (EstCOT) em áreas sob diferentes usos do solo nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm no Cerrado. ( $\pm$ erro padrão da média).....	40
<b>Tabela 5.</b> Valores médios dos teores de carbono no fracionamento ácido fúlvico (C-FAF), ácido húmico (C-FAH) e humina (C-HUM) em áreas sob diferentes usos do solo nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm no Cerrado. ( $\pm$ erro padrão da média).....	43

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ACN- Área de Cerrado Nativo  
APB- Área de Plantio de Banana  
APE- Área de Plantio de Eucalipto  
COT- Carbono Orgânico Total  
COS- Carbono Orgânico do Solo  
Ds- Densidade do Solo  
EstC- Estoque de Carbono  
FAF- Fracionamento Ácido Fúlvico  
FAH- Fracionamento Ácido Húmico  
ILP- Integração Lavoura Pecuária  
MOS- Matéria Orgânica do Solo  
HUM- Humina  
Ph- Potencial Hidrogeniônico  
SAFS- Sistemas Agroflorestais  
TFSA- Terra Fina Seca ao Ar

## LISTA DE SÍMBOLOS

Ca- Cálcio

H- Hidrogênio

CTC- Capacidade de Troca Catiônica

P- Fósforo

K- Potássio

Mg- Magnésio

V- Saturação por Bases

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>15</b>
2.1 USO AGRÍCOLA DO SOLO .....	15
2.2 IMPACTOS SOBRE O USO DO SOLO E ESTOQUE DE CARBONO.....	16
2.3 FRAÇÕES HÚMICAS.....	18
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>20</b>
3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	20
3.2 COLETA DOS SOLOS E PREPARO DAS AMOSTRAS.....	21
3.3 ANÁLISES QUÍMICAS E FÍSICAS.....	22
3.4 DETERMINAÇÃO DOS ESTOQUES DE C DO SOLO.....	24
3.5 FRACIONAMENTOS QUÍMICO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO.....	25
<b>3.5.1 Extração da Substância Húmicas.....</b>	<b>26</b>
<b>3.5.2 Determinação do teor de carbono orgânico nas frações húmicas.....</b>	<b>30</b>
<b>3.5.3 Determinação do carbono dos Ácidos Húmicos e Fúlvicos:.....</b>	<b>34</b>
3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	37
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>38</b>
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>44</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>45</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A substituição do Cerrado Nativo em sistemas agrícolas envolve uma série de atividades que afetam as taxas de adição e decomposição da matéria orgânica do solo (MOS). O uso e o manejo do solo na agricultura atuam alterando tanto a entrada como a saída de C do solo para a atmosfera, em função da produção diferenciada de resíduos, da adubação, dos procedimentos de colheita, dos métodos adotados de preparo do solo e do manejo dos restos culturais.

Segundo Urquiaga *et al.* (2010) em um dos seus trabalhos descreve sobre as mudanças nos padrões das emissões de gases do efeito estufa pelo sistema solo - planta, que começou por influência antrópica com a descoberta da agricultura, significativas quantidades de CO<sub>2</sub> e de outros gases foram emitidos para a atmosfera com o desmatamento e queima da vegetação, para que a terra fosse utilizada para atividades agrícolas e pelo o próprio manejo.

Na agricultura primária, na qual o solo é considerado uma única fonte de nutrientes para produção de alimentos, seu uso sucessivo tem levado a perda de macro e micronutrientes, além da matéria orgânica ou do carbono orgânico do solo, o que significa a transformação de dióxido de carbono, do carbono que estava estocado naturalmente no solo e que está em equilíbrio com a biomassa nativa.

O estudo da matéria orgânica, em seus diversos compartimentos, bem como sua relação com o manejo, visa desenvolver estratégias para uma utilização sustentável dos solos, com vistas em reduzir o impacto das atividades agrícolas sobre o ambiente, principalmente na região do Cerrado, onde as altas temperaturas podem contribuir para um declínio acelerado dos estoques de C orgânico (Freixo, *et al.*, 2002). Dessa forma, quanto maior as quantidades de matéria orgânica no solo, maior o acúmulo de C.

Estudos evidenciam a utilização de sistemas conservacionista é uma prática fundamental para alcançar uma agricultura que visa à preservação e o uso sustentável do solo. Os Sistemas Agroflorestais (SAFs) é uma eficiente forma de uso do solo, através de consórcios florestais, agrícolas e animais na mesma área, sendo um dos sistemas que apresenta consideráveis concentrações de carbono orgânico total e matéria orgânica, devido o acúmulo de resíduos vegetais, consorcio de culturas e principalmente o não revolvimento do solo. Além desses, existem os sistemas de plantio de Eucalipto que tem demonstrado em vários trabalhos ser uma alternativa para aumentar s teores de carbono no solo, contribuindo

para mitigar a emissão de gases de efeito estufa, melhorar a qualidade do solo, combater os processos de erosão, lixiviação, entre outros.

Nesse sentido, o objetivo da pesquisa foi avaliar as alterações provocadas por diferentes formas de uso no solo sobre os estoques de carbono e frações químicas no cerrado.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 USO AGRÍCOLA DO SOLO

O uso e o manejo inadequado dos solos são apontados como as principais causas de origem antrópica relacionadas com a desertificação, podendo influenciar a sustentabilidade e a produtividade dos ecossistemas agrícolas, por meio da degradação de suas propriedades químicas, físicas e biológicas; as quais determinam o desenvolvimento das culturas, com impactos na produtividade e no meio ambiente (PAGLIAI; VIGNOZZI; PELLEGRINI, 2004).

O Brasil possui uma grande diversidade de solos, correspondendo à intensidade de interação das diferentes formas e tipos de relevo, clima, material de origem, vegetação, que por sua vez, dão origem a diferentes processos formadores dos solos. Esta diversidade deve-se a natureza de nosso país, suas limitações de uso e muitas das vezes às diferenças regionais no que se refere às diversas formas de ocupação, uso e desenvolvimento do território.

No Nordeste do Brasil, várias formas de uso podem acarretar em diferentes processos que resultam em desertificação. O extrativismo tanto vegetal (principalmente voltado para obtenção de lenha para fins energéticos) quanto mineral, assim como o sobrepastoreio das pastagens nativas ou cultivadas e o uso agrícola por culturas que expõem os solos aos agentes da erosão são as principais causas dos processos de desertificação que atingem as áreas não sujeitas à irrigação. Quando a atividade é a agricultura irrigada, a salinização dos solos é o principal agente do processo de desertificação (MANZATTO, 2002).

Segundo Manzatto (2002): “os solos do Nordeste se diversificam segundo os variados fatores de formação que lhes deram origem. Há solos ricos, pobres e degradados pela erosão e pelo fogo”.

Dentro do cenário atual de desmatamento, a conversão da vegetação nativa em pastagem ou área agrícola acompanhado pela intensificação e melhoramento das técnicas agrícolas, o manejo de sistemas agroflorestais (SAF) de alta diversidade vem sendo considerada uma alternativa de uso sustentável do solo, capaz de alavancar níveis de produtividade do sistema com grandes melhorias na qualidade da matéria orgânica do solo. Os mais variados sistemas de uso da terra, como exemplo os sistemas silviculturais sob ótimas condições de manejo, possuem capacidade de estoque de até 228 t/ha de carbono, incluindo o carbono retido no solo até 100 cm de profundidade (SILVA, 2013).

Segundo Viana *et al.* (2011), tem sido verificado que o aumento da densidade do solo nas áreas agrícolas está ligado ao intenso uso do solo, provavelmente, devido ao excessivo tráfego de máquinas, no caso das áreas com cana de açúcar, ou à presença de animais em condições favoráveis à compactação do solo, no caso do sistema de pastagem. Em ambos os casos, a perda excessiva de Matéria Orgânica (MOS) e de Carbono Orgânico (COS) acentuam estes efeitos. De acordo com o autor, o que acontece é que o carbono entra no sistema solo-planta por meio da fotossíntese, associados ao manejo adequado do solo, que irá produzir consideráveis estoques de matéria orgânica.

## 2.2 IMPACTOS SOBRE O USO DO SOLO E ESTOQUE DE CARBONO

Em estudo para se avaliar a agregação e estoques de carbono sob diferentes práticas de manejo agrícola, Vezzani & Mielniczuk (2011) verificaram que houve recuperação da agregação do solo e estoques de carbono próximo das condições naturais de Campo Nativo com o uso e manejo de sistemas de culturas por 15 a 17 anos sem revolvimento do solo associado ao incremento de carbono.

Costa *et al.* (2009) constataram que o revolvimento do solo com arado e grade ou escarificador reduz o teor de carbono de compostos orgânicos, a estabilidade de agregados, a densidade e a capacidade de campo, porém, aumenta a porosidade total, a macroporosidade e a capacidade de aeração.

É através do carbono no solo que a planta consegue realizar um melhor desempenho, é ele que ajuda a melhorar estrutura física do solo pela melhor agregação, além de melhorar a infiltração e o armazenamento de água, conferindo raízes profundas que lhes confere vantagens, pois buscarão mais nutrientes e água, através de camadas mais profundas do solo.

No que se referem à agricultura, as mudanças climáticas globais, o aumento na concentração de dióxido de carbono CO<sub>2</sub> e de outros gases tóxicos, as atividades industriais, desmatamento irregular, aração, gradagem, o solo e suas formas de uso estão em foco. As alterações nas diferentes formas de uso da terra influenciam a ciclagem de nutrientes, o estoque de carbono e a matéria orgânica do solo. Qualquer alteração pode interferir de forma direta, podendo intensificar os processos naturais, causando instabilidade na terra. De acordo com FITZSIMMONS *et al.* (2003), depois da queima de carvão, petróleo e seus derivados, a mudança de uso da terra é a maior fonte de emissão de carbono antropogênico para a atmosfera. Por meio disso é necessário remover a quantidade de CO<sub>2</sub> atmosférico, tentando

absorver essa quantidade no solo e do mesmo modo que o carbono, o N é um elemento importante nos estudos de matéria orgânica do solo, sendo um dos nutrientes com dinâmica mais pronunciada no sistema.

O conceito de sequestro de carbono foi consagrado na Conferência de Kyoto, em 1997, que tinha como objetivo conter e reverter o acúmulo de GEEs na atmosfera, de modo a reduzir o efeito estufa antrópico (CHANG, 2004). Em princípio, sequestro de carbono aplica-se à preservação de áreas florestais com riscos de serem destruídas, à recuperação de florestas degradadas, e ao estabelecimento de novas plantações florestais, assim como à implantação de sistemas agroflorestais com espécies nativas ou exóticas.

O uso de práticas de manejo florestal e agroflorestal e, de práticas conservacionistas do preparo do solo pode potencialmente mitigar e reduzir as emissões de carbono, ou seja, sequestrando-o, capturando-o e mantendo-o o maior tempo possível na biomassa, no solo e nos oceanos. Nas práticas florestais e agroflorestais, o processo se logra através da fotossíntese e no solo, através da decomposição e mineralização da matéria orgânica (AREVALO *et al.*, 2002). Dessa forma as florestas, os sistemas agroflorestais e os solos podem ser como fontes de carbono. Isto vai depender de como e com que propósito são manejados e, como são empregados seus produtos.

De todo o C orgânico no solo, uma parte considerável encontra-se na forma de matéria orgânica do solo (MOS). Entretanto, o material orgânico no solo é facilmente decomposto quando se realizam práticas de manejo não conservacionistas, causando agravamento no efeito estufa, devido à liberação de GEE, como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O (CERRI *et al.*, 2007).

Os SAFs possibilitam vários benefícios ambientais como o aumento da incorporação de matéria orgânica assim como a incorporação de nitrogênio no sistema, auxiliando na recuperação de áreas degradadas, a produção de diversificados cultivos, melhoria na qualidade do solo, importante sistema de fixação de carbono (na biomassa vegetal e no solo) contribuindo para a geração de serviços ambientais dentro do sistema (SILVA, 2013). Estes sistemas surgem com uma alternativa econômica e sustentável.

Os SAFs acumulam carbono na biomassa e auxiliam na promoção dos serviços ambientais. Segundo Caldeira *et al.* (2001), o acúmulo de biomassa num sistema florestal ou agroflorestal é afetado por fatores ambientais. Os SAFs em comparação com sistemas florestais homogêneos, a exemplo das florestas de Eucalyptus, estocam carbono na biomassa armazenado em grande quantidade propiciando a manutenção da biodiversidade, enquanto as

florestas artificiais são capazes de fixar mais carbono nos primeiros anos após sua implantação (SILVA, 2013).

O cultivo de florestas é apontado como meio eficiente no sequestro de carbono em razão do acúmulo deste na madeira e aumento do estoque no solo. No Brasil, a maior área de florestas plantadas é constituída pelo eucalipto, e as condições que favorecem o seu rápido crescimento também contribuem para a mais rápida decomposição dos resíduos depositados e da matéria orgânica do solo. Os atributos químicos, físicos e biológicos do solo são influenciados pela matéria orgânica, sendo esta, portanto, a principal indicadora da qualidade do solo (PULROLNIK et al, 2009).

Em relação ao efeito da profundidade de amostragem, foram verificados maiores teores de COT na profundidade de 0–5 cm, independentemente da fonte de nitrogênio utilizada. O maior acúmulo de carbono na superfície do solo está ligado à maior deposição de resíduos vegetais pelas plantas e ao fato de, no sistema plantio direto, o revolvimento só ocorrer na linha de semeadura, o que também contribuiu para esse aumento (ENSINAS *et al.*, 2016). De acordo com o autor os maiores teores de carbono orgânico total foram encontrados na profundidade de 0-5 e 5-10, de modo geral, o autor retrata que em sistemas em que há uma associação de culturas com grande contribuição de resíduos em plantio direto, ocorre acúmulo de grande quantidade de carbono orgânico.

Os solos possuem grande importância no ciclo biogeoquímico do carbono. Esse compartimento armazena aproximadamente quatro vezes mais C do que a biomassa vegetal e mais que três vezes do que a atmosfera (WATSON, 2001).

### 2.3 FRAÇÕES HÚMICAS

A MOS pode ser a solução de manutenção da CTC do solo, de estrutura e de promoção de desenvolvimento da microbiota do solo e armazenamento de umidade, principalmente em condições em que o clima pode apresentar veranicos severos, podendo levar a perda parcial ou total da lavoura (SILVA; MACHADO, 2000). Segundo Stevenson (1994), a MOS pode ser dividida em três principais componentes, chamadas de Frações Húmicas, sendo elas a Fração humina, Fração de Ácidos Húmicos e Fúlvicos, que tem papel muito importante na qualidade das funções do solo. Atualmente existem diversas técnicas para o fracionamento físico e químico do carbono orgânico, é a partir desse constituinte, que é possível separar as suas frações (CHENG; KIMBLE, 2001).

A composição da MOS influencia inúmeras propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, tais como pH, capacidade de troca catiônica, imobilização e ciclagem de nutrientes, atividade microbiana. Existe uma relação muito estreita entre qualidade do solo e MOS, sobretudo seu conteúdo de carbono (SAHA e GHOSH, 2013).

O fracionamento químico da MOS separa as substâncias húmicas (SH), as quais representam até 80% da MOS, compreendendo um dos maiores reservatórios de carbono no solo (IKEYA et al., 2011). O princípio básico do processo de fracionamento químico é a separação de SH de acordo com sua solubilidade em diferentes meios, como se segue: ácidos fúlvicos (AF), solúveis em meios ácidos e básicos, ácidos húmicos (AH), insolúveis em meios ácidos e solúveis em meios básicos, e humina (HUM), insolúvel em meios ácidos e básicos. A fração humina é relacionada com a presença de MOS recalcitrante, altamente estabilizada pela matriz mineral do solo, ao passo que os ácidos fúlvicos representam o conteúdo de matéria orgânica de caráter lábil, tais como ácidos orgânicos livres e exudatos de raízes, sendo mais suscetível ao processo de humificação. A fração de ácidos húmicos constitui a parcela intermediária entre os compostos estabilizados pela interação com minerais e os ácidos orgânicos livres na solução, refletindo tanto condições de gênese quanto de manejo do solo (CANELLAS et al., 2003).

Um dos principais parâmetros de avaliação da qualidade da MOS é a quantificação do teor de carbono relacionado às SH. A caracterização de SH e sua proporção junto ao conteúdo de MOS é considerado crucial para o entendimento de sistemas agrícolas, do ciclo global de carbono, e para a avaliação de processos inerentes ao manejo diferenciado do solo (EBELING et al., 2011).

Os AH apresentaram em média 56,6% de carbono, 6,9% hidrogênio, 4,9% de nitrogênio e 31,6% de oxigênio, sendo semelhantes aos encontrados na literatura para solos tropicais e subtropicais (CUNHA, 2005.) e dos AH padrões fornecidos pela IHSS.

Na distribuição das SH observa-se baixa variação entre as coberturas em cada profundidade e predomínio da humina. O carbono orgânico do solo, a avaliação das substâncias húmicas (SH) e as características físicas e químicas dos ácidos húmicos (AH) podem ser utilizados como indicador da qualidade das terras uma vez relacionados à sensibilidade ao manejo e a relação com as funções básicas do solo.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O trabalho foi realizado no município de Barreiras, localizado no extremo oeste da Bahia, entre as coordenadas 12° 08' 00" de latitude Sul e 44° 59'00" de longitude Oeste com altitude de 452 m.

O clima, segundo a classificação de Koppen, é do tipo BSh, quente e seco com chuvas de inverno, tendo uma média de temperatura que varia em torno de 15° C e 35° C (INEP, / CPTEC, 2017). A precipitação média anual na região é de 900 mm a 1.500 mm, sendo que na sede municipal verifica-se uma média anual de 1.122 mm e a média anual de evapotranspiração é de 1.341,2 mm, segundo o método da FAO. O período chuvoso ocorre entre outubro a abril e período seco entre maio e setembro.

Foram estudadas as seguintes áreas: cerrado nativo (ACN); área com plantio de banana (APB); área com plantio sistemas agrofloretais (SAF's) e área de plantio de Eucalipto (APE).

Os ambientes selecionados para as avaliações constaram de: área sob vegetação nativa de cerrado sem intervenção humana (ACN); área sob plantio convencional de banana (APB); área com sistema agroflorestral com plantio de cacau, manga e banana (SAF); e área sob plantio de eucalipto com 7 anos, implantado em 2010 (EUC).

**Tabela 1.** Localização das áreas estudadas sob diferentes formas de uso do solo no Oeste da Bahia

Uso do solo	Símbolo	Descrição
<b>Área de Cerrado Nativo</b>	ACN	Área Nativa sem intervenção humana. Localizada na Fazenda São João na cidade de Barreiras- BA. Latitude 11° 57'32" S e longitude 45°09'45" W.
<b>Área de Plantio de Banana</b>	APB	Área localizada em Barreiras no perímetro irrigado Barreiras Norte
<b>Área de Plantio Sistemas Agrofloretais</b>	SAFS	Área localizada no Sítio Jacarandá, Distrito de Irrigação Barreiras Norte, nas coordenadas 12° 05'06" S e longitude 44°55'20" W.
<b>Área de Plantio Eucalipto</b>	EUC	Área localizada na Fazenda São João, situada no município de Barreiras na Região Oeste da Bahia, nas coordenadas 11° 58'15,8" S e 45°09'10,4" W, implantado em 2010.

### 3.2 COLETA DOS SOLOS E PREPARO DAS AMOSTRAS

Em cada ambiente de estudo foram abertos cinco mini perfis com dimensões de 1 x 1m com 0,4 m de profundidade. Em cada área foram demarcados 12 pontos distanciados, sendo que, através de um sorteio, localizou-se 05 pontos para abertura dos mini perfis, representando as repetições. Após a abertura dos perfis coletou-se amostras deformadas com nas seguintes profundidades: 0-10 cm; 10-20 cm; 20-30 cm e; 30-40 cm que foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras de malha 2,0 mm para obtenção da fração terra fina seca ao ar (TFSA) e, conseqüentemente, o encaminhamento para fins de análises químicas do solo (pH, Ca, Mg, K, P, S), seguindo metodologia da Embrapa, (1997).

Em seguida as amostras foram levadas para o Laboratório de Física dos Solos pertencente ao Departamento de Ciências Humanas da Universidade do Estado da Bahia, UNEB para serem armazenadas e identificadas para determinação das análises químicas e posteriormente dos teores de carbono. Para a coleta das amostras indeformadas foi considerado uma amostra simples nas mesmas profundidades de estudo, utilizando anel volumétrico e em seguida conduzidas ao laboratório para determinação da densidade do solo.



Figura 1. Amostra indeformada (A) e amostra deformada sendo seca ao ar (B).  
Fonte: Autor, 2018

**Tabela 2.** Valores de pH em água, fósforo (P), cátions trocáveis (K, Ca e Mg), alumínio (Al), capacidade de troca catiônica (CTC), soma das bases (SB) e saturação por bases (V), nos diferentes usos dos solos do Cerrado no Oeste da Bahia.

Uso do Solo	Prof.	pH	P	Ca	Mg	Al	K	ctc
	cm	H <sub>2</sub> O	mg.Kg <sup>-1</sup>	-----cmol.dm <sup>3</sup> -----				
ACN	00 - 10	4,5	1,7	0,2	0,3	0,9	-	5,7
	10 - 20	4,9	2,1	0,3	0,1	0,7	-	5,7
	20 - 30	4,9	2,1	0,1	0,1	0,7	-	5,5
	30 - 40	4,8	1,4	0,1	0,1	0,6	-	4,4
	40 - 50	4,8	2,4	0,1	0,1	0,8	-	4,3
SAF	00 - 10	5,7	9,7	2,9	0,9	0,0	0,1	3,9
	10 - 20	5,1	2,7	1,1	0,5	0,3	0,1	1,6
	20 - 30	5,0	3,6	0,6	0,5	0,5	0,0	1,2
	30 - 40	4,9	1,4	0,5	0,4	0,6	0,0	0,8
	40 - 50	4,7	1,5	0,3	0,3	0,4	0,0	0,6
APB	00 - 10	6,0	-	2,0	1,6	0,0	-	3,6
	10 - 20	5,7	-	1,7	0,6	0,1	-	2,3
	20 - 30	5,3	-	1,0	1,3	0,3	-	2,3
	30 - 40	5,0	-	0,7	0,3	0,4	-	1,0
	40 - 50	5,5	-	1,4	1,0	0,2	-	2,3
EUC	00 - 10	4,7	4,6	1,0	0,6	1,9	0,1	6,0
	10 - 20	4,3	2,4	0,0	0,1	2,0	0,2	1,9
	20 - 30	4,3	2,8	0,1	0,0	2,4	0,2	1,6
	30 - 40	4,2	2,9	0,7	0,6	1,9	0,2	4,0
	40 - 50	4,3	4,2	0,0	0,1	1,7	0,1	2,6

### 3.3 ANÁLISES QUÍMICAS E FÍSICAS

As amostras deformadas foram destorroadas e secas ao ar e passadas na peneira de 2,0 mm de malha para obtenção da Terra Fina Seca ao Ar (TFSA) para realização das análises físicas e químicas. Para obtenção das análises físicas foram determinadas granulometria (areia, silte e argila) e densidade do solo (tabela 3). Já para determinação das análises químicas (pH, P, K, Ca, Mg, Al e Al+H) (tabela 2) e determinação dos teores de carbono

orgânico (COT) nas diferentes profundidades do solo seguindo a metodologia descrita no Manual de Métodos de Análises do Solo, em Embrapa, (1997).

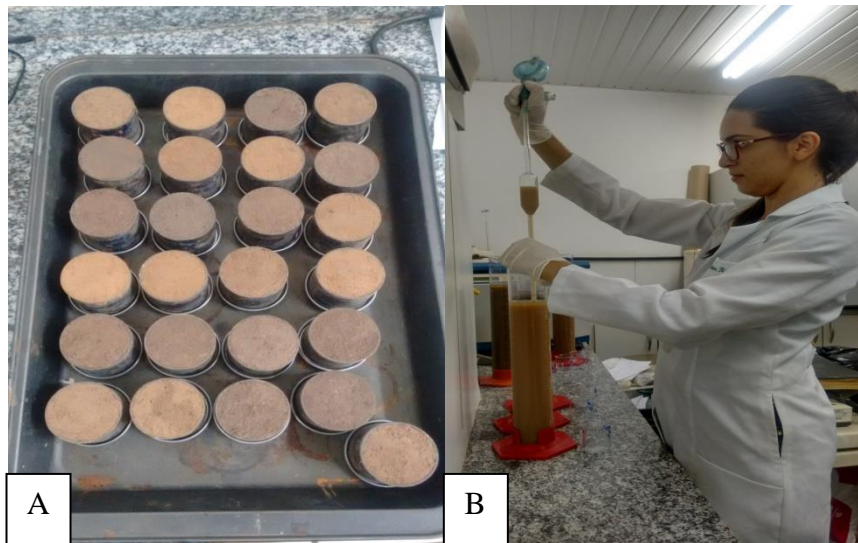


Figura 2. Amostra indeformada para posterior determinação em laboratório da densidade do solo (A) e análise de granulometria sendo feita (B).

Fonte: Autor, 2018.

**Tabela 3.** Valores médios de Areia, silte e argila ( $\text{g.kg}^{-1}$ ) Ds do solo nas diferentes profundidades.

		Areia	Silte	Argila	----
		-----m-----			g.dm <sup>3</sup> ----
		-----%			
ACN	0,00-0,10	88,90	3,49	7,61	1,47
	0,10-0,20	86,42	5,46	8,12	1,48
	0,20-0,30	85,01	7,60	7,39	1,53
	0,30-0,40	85,56	6,23	8,21	1,56
SAF	0,00-0,10	84,90	6,29	8,81	1,56
	0,10-0,20	84,14	4,42	11,44	1,62
	0,20-0,30	82,30	4,64	13,06	1,64
	0,30-0,40	79,71	6,56	13,73	1,68
APB	0,00-0,10	84,92	5,24	9,84	1,47
	0,10-0,20	81,44	7,40	11,16	1,48
	0,20-0,30	77,96	6,73	15,31	1,53
	0,30-0,40	73,37	10,29	16,34	1,56
EUC 7	0,00-0,10	83,69	2,84	13,47	1,46
	0,10-0,20	83,21	3,7	13,09	1,50
	0,20-0,30	82,65	3,81	13,54	1,48
	0,30-0,40	82,39	5,55	12,06	1,51

### 3.4 DETERMINAÇÃO DOS ESTOQUES DE C DO SOLO

Para determinação dos estoques de C foram obtidos por meio da correção da massa do solo utilizando-se a camada e a massa equivalente do solo através da massa do solo de referência. Para o cálculo da massa equivalente, foi considerada a massa relativa do solo nas diferentes formas de uso pela seguinte expressão:

$$M_{solo} = D_s \times E \times A = \quad (Eq. -1)$$

sendo:

$M_{solo}$  = massa do solo, expresso em Mg ha<sup>-1</sup>;

$d_s$  = densidade do solo, expresso em Mg m<sup>-3</sup>;

$E$  = espessura, expresso em m;

$A$  = área, 10.000 m<sup>2</sup>.

Após a definição da massa do solo, foi considerada a área de cerrado nativo (ACN) como área de referência. Em seguida foi calculado as camadas de solo a serem adicionadas ou subtraídas com o objetivo de igualizar as massas de solo dos tratamentos. Calculou-se as camadas de solo a serem adicionadas ou subtraídas, utilizando a seguinte expressão:

$$\frac{E_{ad}}{Sub} = (M_{ref} - M_{area}) \times \frac{f_{ha}}{d_s} = \quad (Eq. -2)$$

sendo:

$E_{ad}/sub$  = espessura do solo da camada a ser adicionada (+) ou subtraída (-), expresso em m;

$M_{ref}$  = massa equivalente do solo da área de referência, ACN, expresso em Mg ha<sup>-1</sup>;  $M_{area}$  = massa equivalente do solo da área, expresso em Mg ha<sup>-1</sup>;

$f_{ha}$  = fator de conversão de ha para m<sup>2</sup> (0,0001 ha m<sup>-2</sup>);

$d_s$  = densidade do solo, expresso em Mg m<sup>-3</sup>.

Os estoques de C em massa equivalente foram obtidos pela seguinte expressão:

$$Est = cc \times d_s \times \left( \frac{E \pm E_{ad}}{sub} \right) \times A \times Fkg \quad (Eq. -3)$$

sendo:

Est = estoque de C ou N por unidade de área em camada equivalente, expresso em  $\text{Mg ha}^{-1}$ ;

cc = concentração de C ou N, expresso em  $\text{g kg}^{-1}$ ;

ds = densidade do solo, expresso em  $\text{Mg m}^{-3}$ ;

E = espessura do solo da camada estudada, expresso em m;

Ead/sub = espessura do solo da camada a ser adicionada (+) ou subtraída (-), expresso em m;

A = área, considerando 1 ha, ou seja,  $10.000 \text{ m}^2$ ;

Fkg = fator de conversão de kg para Mg ( $0,001 \text{ Mg ha}^{-1}$ ).

### 3.5 FRACIONAMENTOS QUÍMICO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

O fracionamento químico da MOS foi determinado através da extração das substâncias húmicas. Para avaliar a qualidade da matéria orgânica, foi utilizado o método de extração e fracionamento quantitativo de substâncias descrito por Benites *et al.* (2003). Com base na solubilidade diferenciada das substâncias húmicas em meios alcalino e ácido, foram determinados os teores de C associados à fração ácidos húmicos (C-FAH), a fração ácidos fúlvicos (C-FAF) e a humina (C-HUM). Na determinação do teor de carbono orgânico em cada fração foi utilizada a mesma metodologia descrita por Yeomans e Bremner (1988).

Foram calculadas as relações entre os teores de C associados às frações ácidos húmicos e ácidos fúlvicos (C-FAH/CFAF) e as relações entre os teores de C no extrato alcalino (C-fração ácidos húmicos + C-fração ácidos fúlvicos) e na humina (C-humina).

Segundo Benites *et al.* (2003), as substâncias húmicas constituem aproximadamente 90% da matéria orgânica, sendo originadas do processo de ressíntese dos resíduos orgânicos, atuando em diversas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

Podendo ser classificadas, em ácidos fúlvicos, húmicos e humina, sendo o primeiro substâncias solúveis em meio ácido e básico, que apresentam maior polaridade e menor tamanho molecular, sendo os principais responsáveis por mecanismos de transporte de cátions dentro do solo. Já os ácidos húmicos como o próprio nome diz são os compostos húmicos e apresentam pouca solubilidade em meio ácido, são responsáveis pela maior parte da CTC de origem orgânica em camadas superficiais de solos. E em humina que consiste em um aglomerado de materiais húmicos.

### 3.5.1 Extração da Substância Húmicas

Seguindo a metodologia descrita por Benites *et al.* (2003). Inicialmente as amostras das profundidades 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 m foram previamente secas ao ar (TFSA), foram peneiradas em malha de 2 mm e em seguida maceradas (Figura -1B) para uma maior reação do extrator, passadas na peneira de 60 mesh e posteriormente pesadas 1 grama do material no tubo de centrifuga (Figura 3- B), adicionada 10 ml de NaOH a  $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$  e agitadas manualmente durante 30 segundos e deixou de repouso 24 horas (Figura 4), após este período foram centrifugadas a 3000 rpm durante 30 minutos.



Figura 3. Amostra sendo macerada (A) e pesagem da amostra no tubo de centrifuga (B).  
Fonte: Autor, 2019



Figura 4. Adicionado a solução de NaOH colocou-se na centrifuga e após 24 horas de descanso realizou-se a centrifugação. Fonte: Autor, 2019.

Decorrido a etapa de centrifugação, transferiu-se o sobrenadante (extrato alcalino) para copo de plástico descartável de 50 mL (copo de café) devidamente identificados e reservou (Figura 5). O sobrenadante deve ser recolhido imediatamente após a centrifugação, evitando, assim, a ressuspensão do precipitado. A transferência do sobrenadante deve ser feita com cuidado evitando o desprendimento de material do fundo do tubo de centrifuga.

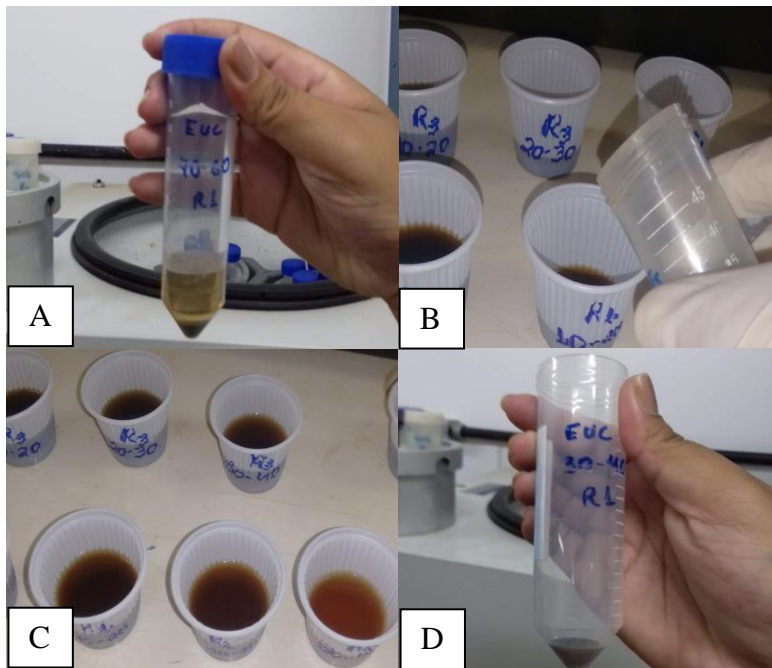


Figura 5. Sequência da separação do extrato alcalino.  
Fonte: Autor, 2019

Adicionou-se mais 10 mL de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> a cada amostra contida no tubo de centrifuga e foi agitada manualmente até o desprendimento e ressuspensão do precipitado. Nessa etapa foi necessário obedecer também a relação solo:extrator 1:10 p/v. Deixou em repouso por 1 hora e após o repouso, centrifugou as amostras novamente a 3000 rpm por 30 minutos.

Posteriormente recolheu o sobrenadante, chamado de extrato alcalino junto ao previamente reservado nos copos de café. Reservou o precipitado, para a extração do carbono associado à fração humina. Ajustou o pH do extrato alcalino dentro dos copos plásticos para 1,5 ( $\pm 0,5$ ), com adição de aproximadamente 2,0 mL de solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 20% (Figura 6). O volume de ácido sulfúrico utilizado em cada amostra de solo ou resíduo variou em função do teor de substâncias húmicas, as amostras de solo foram homogeneizadas com o auxílio de um bastão de vidro e obter a leitura do pH e para facilitar essa operação foi usada uma pipeta automática.

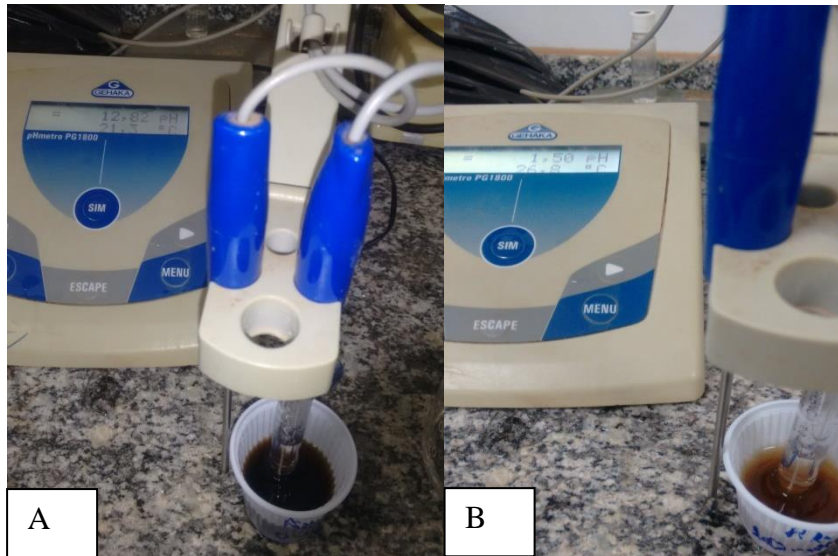


Figura 6. Acidificação do extrato alcalino (A), Ph acidificado (B). Fonte: Autor, 2019

Após a acidificação da solução, o material foi mantido em repouso por 16 a 18 horas para que ocorra a separação das frações húmicas (Figura 6). Durante esse período ocorreu a floculação e decantação da fração ácido húmico (precipitado), sendo a parte solúvel (sobrenadante) a fração ácido fúlvico.

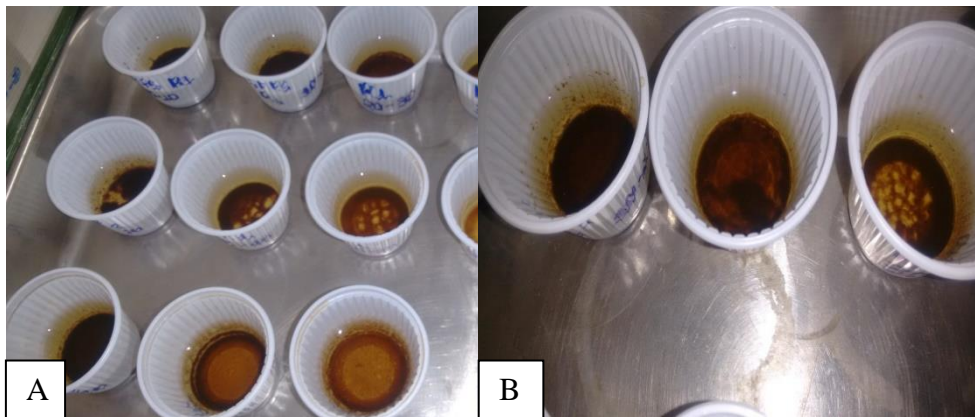


Figura 7. Processo de decantação – (A) Amostra após adição do ácido sulfúrico; (A) Início da floculação das partículas da fração ácido húmico; (B) Separação das frações ácido húmico e fúlvico. Fonte: Autor, 2019

Durante o período de repouso das amostras foi transferido o precipitado (fração húmica) dos tubos de centrífuga para beakers de 50 mL, utilizando o mínimo de água destilada possível ( $\pm 10$  ml). Foi utilizado um palito de churrasco para auxílio na retirada de todo material do tubo. O volume de água utilizado para retirar a fração húmica foi o mínimo possível para facilitar a etapa de secagem do material.

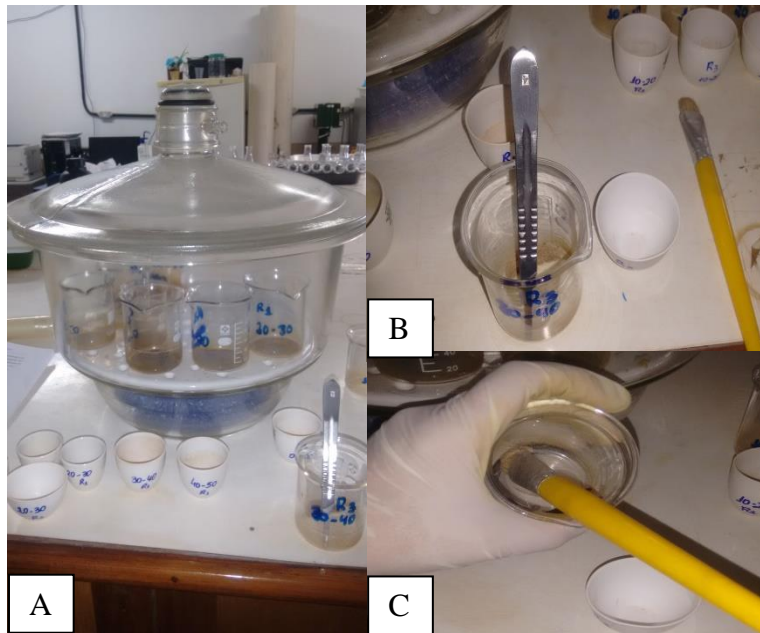


Figura 8. Transferência do precipitado (solo) para o becker, após secos armazenados no dessecador (A), material sendo retirado (B) e em seguida transferido para o cadinho (C).  
Fonte: Autor, 2019

Levou-se o material para estufa aquecida a  $65^{\circ}\text{C}$  até a secagem completa. Essa etapa pode durar de 1 a 3 dias. Decorrido o período de repouso das soluções armazenadas nos copos plásticos, filtrou-se o precipitado em filtro de membrana de 0,45 mm no sistema de filtragem a vácuo (Figura 9).



Figura 9. Separação das frações por filtragem. Fonte: Autor, 2019

Após a filtragem, transferir o filtrado (fração ácido fúlvico) para frascos de vidro ou tubos de centrifuga devidamente identificados e completar o volume para 50 mL utilizando água destilada.

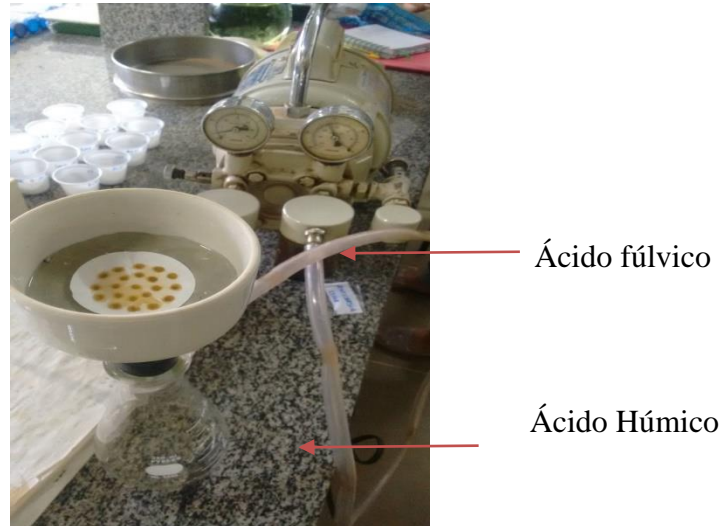


Figura 10. Separação das frações húmicas após filtração. Fonte: Autor, 2019

Adicionou-se NaOH  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  sobre o precipitado (fração ácido húmico) aderido no filtro com auxílio de uma pisceta até dissolver completamente o mesmo, em seguida, transferiu a fração ácido húmico para frascos de vidro ou tubos de centrifuga devidamente identificados e completou o volume para 50 mL utilizando água destilada. Após as extrações das frações húmicas armazenou-se o material em geladeira para determinação do teor de carbono.

### 3.5.2 Determinação do teor de carbono orgânico nas frações húmicas

A determinação do carbono da fração humina foi realizado após os 3 dias de secagem da fração humina, em seguida raspou o material aderido nos beakers (Figura 8) e transferir para cadinhos e armazenar em dessecador até a etapa da determinação do carbono (Figura 8). Para facilitar a retirada da amostra foi utilizado uma espátula e um pincel.

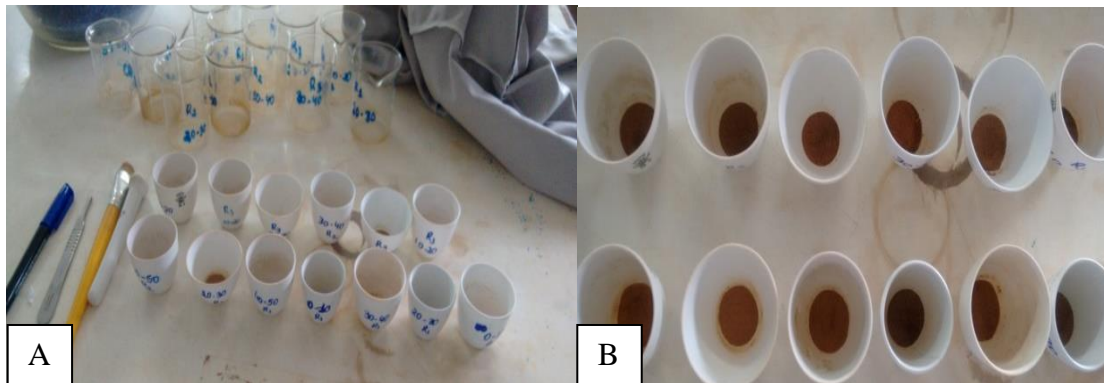


Figura 11. Solo seco e macerado pronto para a determinação da humina (A e B).  
Fonte: Autor, 2019

Em seguida macerou o solo que estava no cadinho, passou na peneira de 80 mesh, pesou-se 0,5 gramas da fração humina armazenada em cada um e transferiu o material para tubos de digestão devidamente identificados. Adicionou-se 5 mL de  $K_2Cr_2O_7$   $0,167 \text{ mol L}^{-1}$  e 10 mL de  $H_2SO_4$  concentrado a cada amostra e em seis tubos sem solo (brancos), sendo realizado dentro de uma capela.



Figura 12. Preparo das amostras por digestão. Fonte: Autor, 2019

Colocou-se os tubos com as amostras e três dos seis brancos no bloco digester e regulou a temperatura para  $150^\circ\text{C}$ , após estabilização, digeriu as amostras por 30 minutos, sob exaustão na capela. Reservou-se três dos seis brancos em local fora do bloco digester (brancos

sem aquecimento). Decorrido os 30 minutos de digestão os tubos foram retirados do bloco e mantidos dentro da capela de fluxo de gases para que possam esfriar durante 20 a 30 minutos.

Após o resfriamento, o conteúdo de cada tubo foi transferido para erlenmeyers de 250 mL (inclusive os três brancos não aquecidos), sendo o volume completado para 50 mL com água destilada. Em seguida iniciou-se a etapa da titulação. Para a realização dessa etapa deve se utilizar uma bureta, preenchendo todo volume da mesma (50 mL) com a solução titulante de  $\text{FeSO}_4 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$   $0,25 \text{ mol L}^{-1}$ . Em seguida, completa-se a bureta com a solução de Sulfato Ferroso  $0,25 \text{ mol L}^{-1}$  para iniciar a titulação.

Iniciou-se a titulação com as amostras dos brancos não aquecidos, seguidos dos brancos aquecidos. Adicionou 4 gotas do indicador ferroin no erlenmeyer e titular utilizando agitador magnético. Após o ponto de viragem, anotou-se o volume de sulfato ferroso gasto em cada amostra. A mudança de cor no ponto final foi de verde para vermelho; no início, variou de laranja-amarelado a verde escuro, mudando para um cinza e então, mudou marcadamente para um vermelho vinho no ponto final de titulação. As leituras dos brancos não aquecidos deverão ser menores que os dos aquecidos. Fez-se o seguinte cálculo.

$$X = (V_{\text{baq}} - V_{\text{am}}) \times \text{NSF}_{\text{Acorr}} \times \frac{12}{4} \times \frac{1}{p}$$

sendo:

$X$  = mg C na forma de humina (mg de  $C_{\text{humina}} \text{ g}^{-1}$  solo)

$V_{\text{baq}}$  = Volume (mL) de Sulfato Ferroso Amoniacal (SFA) consumido na titulação do branco aquecido

$V_{\text{am}}$  = Volume (mL) de SFA consumido na titulação da amostra

$p$  = peso da amostra (humina) utilizada na análise (g)

$\text{NSFA}_{\text{corr}}$  = Normalidade do SFA corrigida pela equação:

$\text{NSFA}_{\text{corr}} = \frac{\text{Volume de dicromato} \times \text{Normalidade do dicromato}}$

Volume de SFA consumido na titulação do branco sem aquecimento



Figura 13. Amostras com adição de dicromato após a digestão. Fonte: Autor, 2019

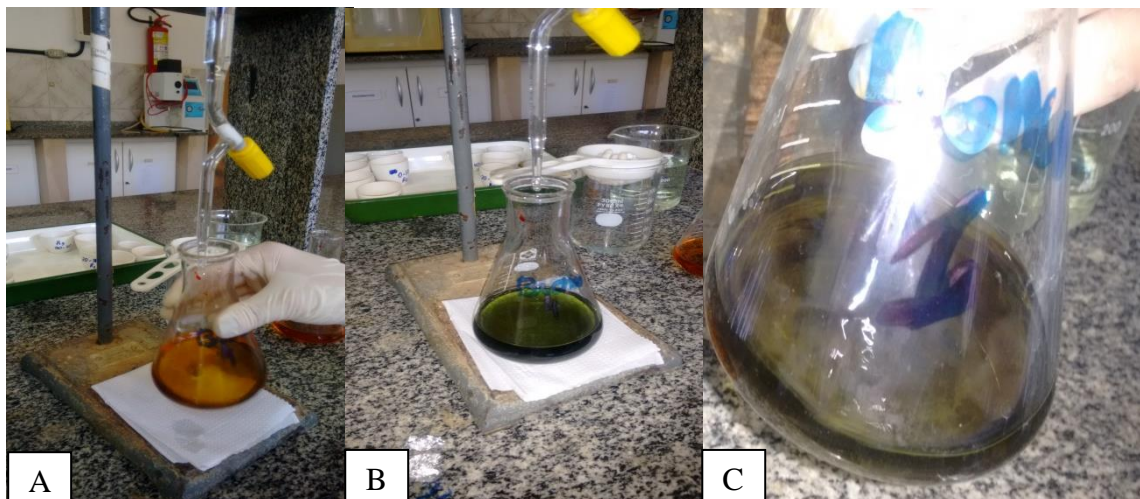


Figura 14. Mudanças de coloração após a titulação. A mudança de cor no início variou de laranja-amarelado (A) a verde escuro (B), mudando para um cinza e então para um vermelho vinho no ponto final de titulação. Fonte: Autor, 2019



Figura 15. Amostras com ponto final de titulação. Fonte: Autor, 2019

### 3.5.3 Determinação do carbono dos Ácidos Húmicos e Fúlvicos:

O procedimento analítico para a determinação do carbono em ambas as frações é semelhante. Retirou-se os frascos com ácidos húmicos e fúlvico da geladeira e transferiu uma alíquota de 5 mL da solução de ácido húmico ou de fúlvico para tubos de digestão.

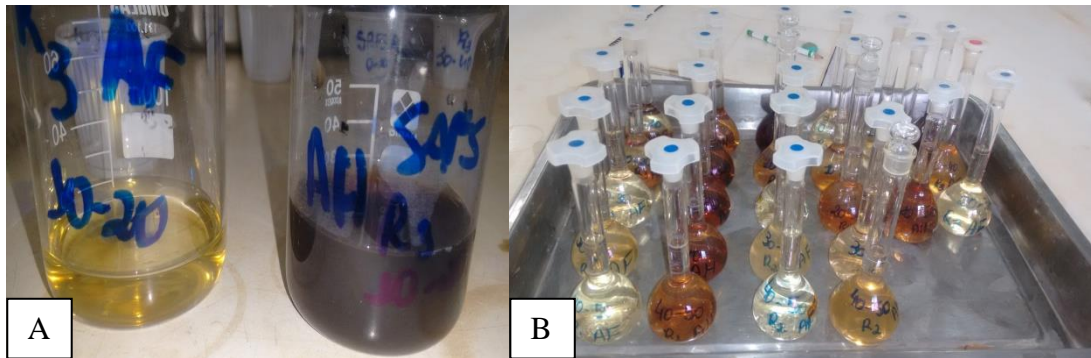


Figura16. Preparo das frações ácido húmico (A) e fúlvico (B) para digestão  
Fonte: Autor, 2019

Em seguida adicionou nos tubos de digestão 1 ml de dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ )  $0,042 \text{ mol L}^{-1}$  e 5 mL de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) concentrado a cada amostra e em seis tubos contendo 5 mL de água destilada (brancos). Essa etapa foi realizada dentro da capela.



Figura 17. Adição do dicromato de potássio, ácido sulfúrico e da solução da amostra após a digestão. Fonte: Autor, 2019

No bloco digestor regulou-se a temperatura para 150°C e colocou os tubos com as amostras e três dos seis brancos, após estabilização as amostras foram digeridas por 30 minutos, sob exaustão na capela. Foram reservado três dos seis brancos em local fora do bloco digestor (brancos sem aquecimento). Decorrido os 30 minutos de digestão os tubos foram retirados do bloco e mantidos dentro da capela de fluxo de gases para esfriarem. Após o resfriamento, o conteúdo de cada tubo foi transferido para erlenmeyers de 250 mL (inclusive os três brancos não aquecidos), sendo o volume completado para 50 mL com água destilada.



Figura 18 – Coloração do extrato após a digestão e com adição do indicador ferroim, respectivamente.

Fonte: Autor, 2019

Em seguida iniciou-se a etapa da titulação utilizando a bureta de 50 ml, preenchendo todo volume da mesma com a solução de sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )  $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$ . A titulação foi iniciada com os brancos não aquecidos, seguidos dos aquecidos. Adicionou-se cerca de 5 a 8 gotas do indicador ferroin no erlenmeyer e titulou utilizando agitador. Após o ponto de viragem, anotou o volume gasto.

A mudança de cor no ponto final foi de verde para vermelho; no início, variou de laranja-amarelado a verde escuro, mudando para um cinza e então, muda marcadamente para um vermelho vinho no ponto final de titulação (Figura 19).



Figura 19. Mudança de coloração durante a titulação e ao final da titulação. Fonte: Autor, 2019

Quando o indicador “vira” (muda de cor), mostra que a reação terminou, sendo assim anotou-se o volume gasto na titulação de cada amostra para efetuar os cálculos do C contido na fração ácido húmico e na fração ácido fúlvico, usando o seguinte cálculo:

$$X \text{ (mg C}_{\text{húmico ou fúlvico}} \text{ g}^{-1} \text{ solo)} = (V_{\text{baq}} - V_{\text{am}}) \times \text{NSF}_{\text{Acorr}} \times \frac{12}{4} \times \frac{50}{a} \times \frac{1}{P}$$

sendo:

X = mg C na forma de ácido húmico (ou fúlvico) por grama de solo

V<sub>baq</sub> = Volume (mL) de SFA consumido na titulação do branco aquecido

V<sub>am</sub> = Volume (mL) de SFA consumido na titulação da amostra

a = volume do extrato ácido húmico ou fúlvico utilizado na análise

p = peso do solo ou resíduo utilizado para extração das frações húmicas

NSFA<sub>corr</sub> = Normalidade do SFA corrigida pela equação:

$$\text{NSFAcorr} = \frac{\text{Volume de dicromato} \times \text{Normalidade do dicromato}}{\text{Volume de SFA consumido na titulação do branco sem aquecimento}}$$

### **3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA**

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, considerando um delineamento inteiramente casualizado, em que as mudanças nos teores e estoques de C, dependendo do tipo de uso da terra (área de vegetação nativa, área sob plantação de banana, eucalipto 7 anos e área sob sistema agroflorestal) em cada profundidade, serão comparadas por meio de teste de média Tuckey a 5% de probabilidade.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 4 mostra os valores médios de carbono orgânico total e estoque de carbono em áreas sob diferentes usos do solo, nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm no Cerrado.

Para os valores de COT na profundidade, observaram-se maiores teores de C no solo na área de SAFS apresentando ( $7,33 \text{ g kg}^{-1}$ ) na camada superficial de 0-10, e verificou-se decréscimo do COT conforme aumentava a profundidade, sendo que as camadas de 20-30 e 30-40 indicaram não haver diferença significativa. O exemplo observado deve-se a maior deposição de matéria orgânica em superfície. Os maiores teores de C são decorrentes do maior e constante contribuição de resíduos vegetais na superfície do solo durante o ano. Esse aporte constante pode ter favorecido o aumento dos teores de C e em formas mais estáveis. Já as demais áreas como APB, EUC 7 anos e ACN, não se diferem nas profundidades.

Analisando o COT nas formas de uso do solo, observou-se que na camada 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 os SAFS, APB e ACN não se diferem, sendo que o EUC se sobressaiu ao longo das profundidades comparado as demais formas de uso do solo, apresentando na camada de 0-10 um aumento de 54,84%, 62,85%, e 59,40 a mais de COT nas respectivas áreas de estudo. Esse aumento no estoque de carbono se deve principalmente às raízes e à serapilheira do eucalipto. As espécies florestais distinguem-se das demais espécies vegetais por possuírem a capacidade de fixar C por anos ou décadas e armazená-lo na forma de madeira (LITTON et al., 2007). A quantidade de C fixado e o seu tempo de residência no ecossistema dependem, entre outros fatores, da idade da planta, do componente onde o C é alocado e do uso destinado à madeira (DIAZ BALTEIRO; RODRIGUEZ, 2006).

Tal resultado também pode ser explicado pela idade do Eucalipto sendo este de sete anos e pela adição de resíduos vegetais. Assim, o carbono orgânico do solo pode se encontrar em frações lábeis ou estáveis, o que pode ter implicações na durabilidade do seu efeito quanto à fixação de carbono atmosférico. Nestas circunstâncias, o manejo da matéria orgânica é essencial, considerando que ela responde por grande parte da capacidade de troca catiônica (CTC) do solo, favorecendo a retenção de cátions e a consequente redução de sua lixiviação, além de melhorar a estrutura do solo devido ao fato de aumentar a sua agregação.

Resultados diferentes foram encontrados por SILVA et al. (2012) e PEZARICO et al. (2013), que ao avaliarem áreas de SAF, constataram redução no teor de C na camada superficial do solo quando comparada à vegetação referência (mata nativa).

Em relação EstCOT por profundidade, os SAFS apresentou maior estCOT nas primeiras profundidades e ao longos das mesmo houve um decréscimo, as demais áreas de estudo não teve diferença entre si.

Avaliando as formas de uso do solo nos estoques de carbono o EUC mais uma vez mostrou resultados melhores na camada de 0-10 com 64,44% a mais que o plantio convencional (APB); 69% a mais que os SAFS e 61,01% que o ACN. O estoque de carbono obteve decréscimo ao logo da profundidade do solo e o segundo melhor resultado foi o da SAFS com 11,52 Mg ha<sup>-1</sup>. Apesar dos SAFS, APB e ACN não possuírem diferenças significativas, os menores valores no estoque de carbono, pode ser explicado através do manejo do solo, como o próprio revolvimento na área de banana, já em uso do solos que há um intenso preparo, os restos culturais são rapidamente decompostos e se distribui a profundidades que operam os implementos agrícolas, apresentando baixos teores de carbono porém

Os estoques de C no solo são dependentes da relação entre as adições de C fotossintetizado pelas plantas (parte aérea e raízes) e as perdas de C para a atmosfera, resultantes da oxidação microbiana do C orgânico a CO<sub>2</sub>. A reserva de carbono na matéria orgânica do solo é uma importante estratégia para atenuar a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera (RUFINO, 2009). Portanto o monitoramento das alterações dos estoques de carbono no solo tem sido indicador dos efeitos do manejo e uso do solo (CONCEIÇÃO et al., 2008). O cultivo de florestas é apontado como meio eficiente no sequestro de carbono em razão do acúmulo deste na madeira e aumento do estoque no solo.

**Tabela 4.** Valores médios de teores de carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono (EstCOT) em áreas sob diferentes usos do solo nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm no Cerrado. ( $\pm$  erro padrão da média).

Uso do Solo	Profundidade (cm)				DMS
	0-10	10-20	20-30	30-40	
	-----COT (g kg <sup>-1</sup> )-----				
SAF	7,33 $\pm$ 0,24 bA	4,51 $\pm$ 0,99 bB	2,89 $\pm$ 0,53 bC	2,44 $\pm$ 0,45 bC	1,04
APB	6,03 $\pm$ 0,44 bA	5,79 $\pm$ 1,01 bA	4,87 $\pm$ 1,01 bA	3,71 $\pm$ 0,99 bA	5,93
EUC 7	16,23 $\pm$ 1,22 aA	13,71 $\pm$ 0,47 aA	13,03 $\pm$ 0,47 aA	10,44 $\pm$ 0,71 aA	8,88
ACN	6,59 $\pm$ 1,18 bA	5,56 $\pm$ 0,99 bA	4,83 $\pm$ 0,35 bA	4,98 $\pm$ 0,73 bA	2,42
DMS	2,70	7,40	5,43	5,38	
	-----EstCOT (Mg ha <sup>-1</sup> )-----				
SAF	11,52 $\pm$ 0,70 bA	7,51 $\pm$ 0,99 Bb	5,07 $\pm$ 0,90 bC	4,60 $\pm$ 0,51 bC	1,95
APB	8,83 $\pm$ 0,28 bA	8,63 $\pm$ 1,01 bA	7,45 $\pm$ 0,99 bA	5,74 $\pm$ 0,99 bA	7,50
EUC 7	24,83 $\pm$ 0,99 aA	20,48 $\pm$ 0,99 aA	20,41 $\pm$ 0,99 aA	16,17 $\pm$ 0,99 aA	12,82
ACN	9,68 $\pm$ 0,98 bA	8,28 $\pm$ 0,98 Ba	7,43 $\pm$ 0,36 bA	7,46 $\pm$ 0,98bA	3,89
DMS	4,29	11,39	7,92	8,51	

SAF = área sob plantação de sistema agroflorestal; APB = área sob plantio de banana; AEU = área sob plantio de eucalipto; ACN = área sob vegetação nativa de cerrado. Médias seguidas de mesma letra minúsculas (na coluna) e maiúsculas (na linha) não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). DMS = diferença mínima significativa.

Na tabela 5 mostra os valores médios dos teores de carbono no fracionamento ácido fúlvico (C-FAF), ácido húmico (C-FAH) e humina (C-HUM) em áreas sob diferentes usos do solo nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm no Cerrado.

Analisando os teores de C-FAF nas profundidades das áreas estudadas, percebeu-se que comparando apenas a profundidade, a SAFS teve maiores teores na camada de 0-10 em relação às demais camadas, podendo ser explicado devido a quantidade de material orgânico na superfície do solo, nas demais profundidades 10-20, 20-30 e 30-40 não houve diferença significativa.

Em relação a profundidade APB, EUC 7 e ACN houve diferença significativa entre si.

Quando se analisou o C-FAF na forma de uso do solo, observou-se que o EUC 7, os SAFS e ACN não tiveram diferenças significativas entre si na camada de 0-10, mas a Banana foi significativa apresentando o menor valor comparado as demais formas de uso do solo, podendo ser explicado pelo revolvimento do solo, uso de maquinário, etc; na camada de 10-20 somente os SAFS foi significativa e assim se repetiu nas demais camadas. Na camada de 10-20 e 20-30 não se diferem, porém na última camada (30-40) os SAFS foi significativa apresentando o menor valor quando comparado a área de referência, o Cerrado.

Analisando o teor de C-FAH na profundidade observou-se que os SAFS teve melhores teores na camada de 0-10 comparando com as demais camadas, já a APB, EUC e ACN não tiveram diferenças significativas entre si nas profundidades e nem na forma de uso do solo, somente os SAFS diferiu sobressaindo em relação as demais áreas.

O teor de C-HUM nas profundidades os SAFS seguiu apresentando maiores valores na primeira camada e ao longo da profundidade houve um decréscimo e assim observou-se que nas profundidades a APB, EUC e ACN apresentaram maiores teores nas profundidades de 0-10. Quando avaliou-se o uso do solo, o EUC 7 anos teve o melhor resultado apresentando  $8,94 \text{ mgC kg solo}^{-1}$  na camada de 0-10 e seguiu apresentando os melhores valores nas demais profundidades. Já comparando todas substâncias húmicas o eucalipto não se difere.

Todas as formas de uso do solo apresentaram melhores valores na Fração Ácido Húmico. Observou-se seu predomínio, seguido pela FAF e FAH, para ambas as coberturas e profundidades. Nestas áreas, devido à adoção de práticas que não revolvem o solo têm-se melhores condições físicas e químicas no solo para formação e manutenção da FAH, já que esta é mais estável que a FAF. Distribuição semelhante foi observada por LIMA et al. (2006), onde, estudando a mineralogia e química de solos de várzea na Amazônia Ocidental, encontraram maiores valores de HUM seguido da FAF.

Os maiores valores de carbono nas frações HUM e FAH sugerem o efeito benéfico do manejo agroecológico na formação de compostos mais estáveis, que por sua vez estarão associados ao aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) e, conseqüentemente, maior potencial para a retenção de bases, promovendo desta forma uma melhoria na fertilidade do solo.

A explicação do EUC ter tido melhores valores se repete em outros estudos onde o autor diz que o plantio de florestas tem demonstrado grande potencial para o sequestro de carbono no solo, uma vez que trata de um manejo de longo prazo, em que os teores de matéria orgânica tendem a estabilizar-se em um novo equilíbrio, acumulando diversas vantagens, como: aumento da biodiversidade, favorecimento da fauna do solo, aporte de matéria orgânica, menores perdas de solo, carbono orgânico e nutrientes pela erosão e aumento da capacidade de retenção de água no solo (CAMPANHA et al., 2009).

Os maiores teores de C orgânico na camada superficial do solo é o aporte de material orgânico, proveniente da queda de folhas, galhos e da casca das árvores, formando a manta orgânica e a maior densidade de raízes finas, fato comum em plantações de eucalipto

cultivadas em solos com baixo nível de fertilidade (NEVES, 2000; PULROLNIK et al., 2009). Esse material, somado aos resíduos da colheita, em condições favoráveis de crescimento, pode representar 26 % do total de matéria seca produzida em plantações de eucalipto aos sete anos de idade, conforme constatou LEITE (2001).

Outra discussão diz a respeito da pastagem na área de Eucalipto onde a utilização das mesmas em áreas degradadas de lavouras pode contribuir para a melhoria das propriedades edáficas do solo, pela presença de resíduos vegetais e raízes da pastagem. Além disso, aumenta os teores de carbono e melhora significativamente as condições de aeração e capacidade de infiltração de água, por apresentarem um sistema radicular extenso e renovado constantemente (MACEDO, 2009).

O solo comporta-se como um sistema aberto, trocando matéria e energia com o meio. As alterações no estoque de carbono no solo são controladas pela taxa de decomposição de COS, por exemplo, devido a alterações no microclima e pelas alterações na quantidade e na qualidade do C que circula através do sistema. O uso da terra afeta diretamente tanto microclima quanto a quantidade, a qualidade e as vias de entrada C. Além disso, a erosão é controlada pelo uso e manejo da terra e pode diminuir os estoques de COS em sistemas agrícolas em comparação com as florestas (Don et al., 2011). Dessa forma, a quantidade de carbono adicionada depende do tipo de cultura e das espécies utilizadas. Já as perdas de carbono ocorrem principalmente pela liberação de CO<sub>2</sub> na respiração, pela decomposição microbiana dos resíduos e da matéria orgânica do solo e pelas perdas de compostos orgânicos por lixiviação e erosão. A magnitude desses processos depende direta ou indiretamente do manejo do solo (MIELNICZUK, 1999).

A área de Plantio de Eucalipto favorece maiores incrementos de carbono nas substâncias húmicas, contribuindo com menor perda de carbono, demonstrando desta forma que as formas de uso do solo podem ser consideradas como alternativas sustentáveis para a mitigação de C para atmosfera.

**Tabela 5.** Valores médios dos teores de carbono no fracionamento ácido fúlvico (C-FAF), ácido húmico (C-FAH) e humina (C-HUM) em áreas sob diferentes usos do solo nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm no Cerrado. ( $\pm$  erro padrão da média).

Uso do Solo	Profundidade (cm)				DMS
	0-10	10-20	20-30	30-40	
-----C-FAF (mgC kg solo <sup>-1</sup> )-----					
SAF	1,40 $\pm$ 0,61 aA	0,58 $\pm$ 0,85 aB	0,68 $\pm$ 0,34 Ab	0,40 $\pm$ 0,61 bB	0,61
APB	0,63 $\pm$ 0,41 bA	1,25 $\pm$ 0,99 aA	1,38 $\pm$ 0,92 Aa	0,79 $\pm$ 0,84 aA	0,80
EUC 7	1,81 $\pm$ 0,72 aA	2,09 $\pm$ 0,55 aA	2,34 $\pm$ 1,01 aA	2,00 $\pm$ 0,86 aA	1,63
ACN	0,88 $\pm$ 0,76 aA	1,48 $\pm$ 0,96 aA	1,45 $\pm$ 0,58 Aa	1,01 $\pm$ 0,68 aA	1,60
DMS	1,12	1,92	2,00	1,50	
-----C-FAH (mgC kg solo <sup>-1</sup> )-----					
SAF	1,62 $\pm$ 0,36 aA	0,88 $\pm$ 0,50 aB	0,60 $\pm$ 0,21 aB	0,64 $\pm$ 0,57 aB	0,58
APB	0,80 $\pm$ 0,56 aA	1,40 $\pm$ 0,99 aA	1,53 $\pm$ 0,96 aA	0,82 $\pm$ 0,73 aA	1,50
EUC 7	1,56 $\pm$ 0,55 aA	1,63 $\pm$ 0,82 aA	1,73 $\pm$ 0,92 aA	1,21 $\pm$ 0,99 aA	1,10
ACN	1,07 $\pm$ 0,77 aA	1,23 $\pm$ 0,72 aA	0,74 $\pm$ 0,68 aA	0,78 $\pm$ 0,42 aA	1,22
DMS	0,97	1,53	1,60	1,15	
-----C-HUM (mgC kg solo <sup>-1</sup> )-----					
SAF	3,95 $\pm$ 0,84 bA	2,63 $\pm$ 0,47 bB	1,44 $\pm$ 0,30 bC	1,30 $\pm$ 0,31 bC	0,97
APB	4,37 $\pm$ 0,70 bA	2,31 $\pm$ 0,99 bB	1,79 $\pm$ 0,56 bB	1,53 $\pm$ 0,80 bB	1,81
EUC 7	8,94 $\pm$ 0,75 aA	6,55 $\pm$ 1,01 aB	6,64 $\pm$ 1,01 aB	4,85 $\pm$ 0,99 aB	3,06
ACN	4,13 $\pm$ 0,36 bA	2,48 $\pm$ 0,83 bB	2,43 $\pm$ 0,37 bB	2,91 $\pm$ 0,72 bB	1,17
DMS	1,38	2,57	1,90	1,71	

SAF = área sob plantação de sistema agroflorestal; BAN = área sob plantio de banana; AEU = área sob plantio de eucalipto; ACN = área sob vegetação nativa de cerrado. Médias seguidas de mesma letra minúsculas (na coluna) e maiúsculas (na linha) não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). DMS = diferença mínima significativa.

## 5 CONCLUSÃO

A área de Plantio de Eucalipto 7 anos favorece maiores incrementos de carbono nas substâncias húmicas, contribuindo com menor perda de carbono, aumento da MOS, aporte de resíduos ao solo, demonstrando assim que as formas de uso do solo podem ser consideradas como alternativas sustentáveis para a mitigação de CO<sub>2</sub> para atmosfera. Com relação às frações químicas, a maior parte da matéria orgânica do solo encontra-se armazenada na forma de humina na camada superficial (0 – 10 cm), indicando que a proteção química pelo mecanismo de interação com a matriz mineral é importante para a manutenção e estabilização da matéria orgânica do solo.

## REFERÊNCIAS

- AREVALO, L. A.; ALEGRE, J. C.; VILCAHUMAN, L. J. M. Metodologia para estimar o estoque de carbono em diferentes sistemas de uso da terra. 2002. 41 f. **Embrapa Florestas**, Colombo, 2002.
- BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. de A. EMBRAPA. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Extração e Fracionamento Quantitativo de Substâncias Húmicas do Solo: um Procedimento Simplificado de Baixo Custo**. Comunicado Técnico n. 16. Rio de Janeiro, RJ, 2003.
- BENITES, V.M.; MÁDARI, B.; MACHADO, P.L.O.A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado e de baixo custo**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2003. 7p. (Comunicado Técnico).
- CALDEIRA, M.V.W., Schumaker, M.V., Neto, R.M.R, Watzlawick, L.F.; Santos, E.M. 2001. Quantificação da biomassa acima do solo de *Acácia mearnsii* De Wild., procedência Batemans Bay - Austrália. *Ciência Florestal*, 11 (2): 79-91
- CAMPANHA MM, Nogueira RS, Oliveira TS, Teixeira AS, Romero RE. Teores e estoques de carbono no solo de sistemas agroflorestais e tradicionais no semiárido brasileiro. Sobral: EMBRAPA; 2009. Circular Técnica n. 42
- CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; REZENDE, C.E. & SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. R. Bras. Ci. Solo, 27:935-944, 2003.
- CERRI, C.E.P. *et al.* Tropical agriculture and global warming: Impacts and mitigation options. **Scientia Agrícola**, v. 64, p. 83-99, 2007.
- CHANG, M. Y. **Sequestro florestal do carbono no Brasil: dimensões políticas, socioeconômicas e ecológicas**. Curitiba, 2004. 276 f. Tese (Doutorado em Meio Ambiental e Desenvolvimento) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.
- CHENG, H.H.; Kimble, J.M. 2001. Characterization of soil organic carbon pools. In: Lal, R.; Kimble, J.M.; Follet, R.F.; Stewart, B.A. (Eds). *Assessment methods for soil carbon*. Boca Raton, Lewis Publishers. p.117-130.
- CONCEIÇÃO, P.C. *et al.* Fracionamento densimétrico com politungstato de sódio no estudo da proteção física da matéria orgânica em solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.541-549, 2008. Disponível em: Acesso em: 15 jun. 2019.
- COSTA, A.; Albuquerque, J.; Mafra, A. L.; Silva, F. R. Propriedades físicas do solo em sistemas de manejo na integração lavoura-pecuária. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.235-244, 2009.
- CUNHA, T. J. F. **Ácidos húmicos de solos da Amazônia**. 2005, 140f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

- DIAZ-BALTEIRO, L.; RODRIGUEZ, L. C. E. Optimal rotation on Eucalyptus plantation including carbon sequestration - a comparison of results in Brazil and Spain. **Forest Ecology Management**, v.229, n.1/3, p.247-258, 2006.
- DON A, SCHUMACHER J, FREIBAUER A. Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks—a meta- analysis. *Global Change Biology* 2011; 17(4): 1658-1670. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02336.x>.
- EBELING, A. G.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; PINHEIRO, E. F. M.; VALLADARES, G. S. (2011) Substâncias húmicas e relação com atributos edáficos. *Bragantia*, 70(1):157-165.
- EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**, 1997. 212 p.
- ENSINAS, S.C. *et al.* Cover crops affect on soil organic matter fractions under no till system. **Australian Journal of Crop Science**, v.10, p.503-512, 2016. DOI: 10.21475/ajcs.2016.10.04. p7247x.
- FITZSIMMONS, M.J.; PENNOCK, D.J.; THORPE, J. Effects of deforestation on ecosystem carbon densities in central Saskatchewan, Canada. *Forest Ecology and Management*, v.188, p.349-361, 2003.
- FREIXO, A.A.; MACHADO, P. L. O. A.; GUIMARÃES, C. M.; SILVA, C. A.; FADIGAS, F.S. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de latossolo do cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.425-434, 2002
- IKEYA, K.; HIKAGE, T.; ARAI, S.; WATANABE, A. (2011) Size distribution of condensed aromatic rings in various soil humic acids. *Organic Geochemistry*, 42:55-61.
- KOPPEN, W. Grundriss der Klimakunde. Berlin: Walter de Gruyter, 1931. 390p.
- LEITE, F.P. Relações nutricionais e alterações de características químicas de solos da região do Vale do Rio Doce pelo cultivo do eucalipto. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 72p. (Tese de Doutorado).
- LIMA, H. N. et al. Mineralogia e química de três solos de uma toposeqüência da bacia sedimentar do Alto Solimões, Amazônia ocidental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, n.1, p. 59-68. 2006.
- LITTON, C.; RAICH, J. W.; RYAN, M. G. Carbon allocation in forest ecosystems. **Global Change Biology**, v.13, n.10, p.2089-2109, 2007.
- MACEDO MCM. 2009. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. *Revista Brasileira de Zootecnia* 38: 133-146.
- MANZATTO, C. W.; FREITAS JUNIOR, E.; PERES, J. R. R. Uso agrícola dos solos brasileiros. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2002. 174p.

- MIELNICZUK J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: Santos GA, Camargo FAO, compiladores. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Genesis; 1999.
- NEVES. J.C.L. Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo. Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual Norte Fluminense, 2000. 191p. (Tese de Doutorado)
- PAGLIAI, M.; VIGNOZZI, N.; PELLEGRINI, S. Soil structure and the effect of management practices. **Soil Tillage Research**, v.79, n.1, p.131-143, 2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2004.07.002>.
- PEZARICO CR, Vitorino ACT, Mercante FM, Daniel O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. *Revista de Ciências Agrárias* 2013; 56(1): 40-47. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2013.004>.
- PULROLNIK, K.; BARROS, N.F.; SILVA, I.R.; NOVAIS, R.F. & BRANDANI, C.B. Estoques de carbono e nitrogênio em frações da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no Vale do Jequitinhonha - MG. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:1125-1136, 2009.
- RUFINO, M. M. A; Estoque de carbono em solos sob plantios de eucalipto e fragmento de cerrado. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Faculdade de ciências agrônômicas campus de Botucatu, 2009.
- SAHA, R. & GHOSH, P. K. (2013) Soil organic carbon stock, moisture availability and crop yield as influenced by residue management and tillage practices in maize-mustard cropping system under hill agro-ecosystem. *National Academy Science Letters*, 36(5):461-468.
- SILVA, C. A.; MACHADO, P. L. O. de A. Sequestro e emissão de carbono em ecossistemas agrícolas: estratégias para o aumento dos estoques de matéria orgânica em solos tropicais. EMBRAPA Solos. Documentos 19., 2000.
- SILVA CA Jr, Boechat CL, Carvalho LA. Atributos químicos do solo sob conversão de floresta amazônica para diferentes sistemas na região norte do Pará, Brasil. *Bioscience Journal* 2012; 28(4): 566-572.
- SILVA, S. M. **Quantificação de carbono de um sistema agroflorestral em área de cerrado no Brasil Central**. 2013. 58 f. Monografia (Bacharelado em Gestão Ambiental)— Universidade de Brasília, Planaltina, 2013.
- STEVENSON, F.J. 1994. *Humus chemistry: genesis, composition, reactions*. 2. ed. John Wiley, New York, USA. 496pp. Disponível em [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0044-59672009000300021](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672009000300021) acessado dia 31/01/2019.
- URQUIAGA, S; *et al.* **Variações nos Estoques de Carbono e Emissão de Gases de Efeito Estufa em Solos das Regiões Tropicais e Subtropicais do Brasil: uma análise crítica**. Disponível em: [www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/880398/1/BRUNOARTIGODEDIVULGAC](http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/880398/1/BRUNOARTIGODEDIVULGAC)

AOVARIACOESNOESTOQUEDECINFORM.AGRONOMICAS.pdf>. Acesso em: 17 set.2017.

VEZZANI, Fabiane Machado and MIELNICZUK, João. **Agregação e estoque de carbono em argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola.** *Rev. Bras. Ciênc. Solo* [online]. 2011, vol.35, n.1, pp.213-223. ISSN 1806-9657. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000100020>.

VIANA, E.T.; BATISTA, M.A.; TORMENA, C.A.; COSTA, A.C.S.; INOUE, T.T. Atributos físicos e carbono orgânico em latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.6, p.2015-2114, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000600025>.

WATSON, R. T. (Ed.). **Climate change 2001: synthesis report: third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 408 p.

YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 19:13:1467-1476, 1988.