



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO
SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

BRUNA DE FREITAS IWATA

ADIÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS EM UM ARGISSOLO SOB SISTEMA
AGROFLORESTAL NO SEMIÁRIDO CEARENSE

FORTALEZA

2015

BRUNA DE FREITAS IWATA

**ADIÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS EM UM ARGISSOLO SOB SISTEMA
AGROFLORESTAL NO SEMIÁRIDO CEARENSE**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado em Ciência do Solo do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Ciência do Solo. Área de concentração: Manejo e Conservação do Solo e da Água.

Orientador: Profa. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa

FORTALEZA

2015

BRUNA DE FREITAS IWATA

**ADIÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS EM UM ARGISSOLO SOB SISTEMA
AGROFLORESTAL NO SEMIÁRIDO CEARENSE**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado em Ciência do Solo do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo. Área de concentração: Manejo e Conservação do Solo e da Água.

Aprovada em: 16/04/2015

BANCA EXAMINADORA

Profª. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Luiz Fernando Carvalho Leite (Co-orientador)
Embrapa Meio-Norte

Prof. Dr. João Ambrosio de Araújo Filho
Universidade do Vale do Acaraú (UVA)

Prof. Dr. Ricardo Espíndola Romero
Universidade Federal do Ceará (UFC)

*Ao meu pai Anatólio Iwata e
ao meu avô Osvaldo Barbosa
(in memoriam)*

AGRADECIMENTOS

Ao grandioso Deus, por saber e cuidar de todos os momentos ao longo da minha trajetória.

Ao meu pai, Sr. Anatólio Iwata, que por onde estiver sempre será amado e admirado por mim.

Ao meu avô e amigo, Sr. Osvaldo Barbosa, que com a sua terceira série primária inspirou as minhas maiores ideias, junto com a minha avó sua esposa Sra. Socorro Ventura.

À minha joia mais preciosa, minha mãe D. Aparecida Ventura, por ser minha fonte de força, perseverança e honestidade, em cada um dos meus dias.

Ao meu irmão, pelo carinho de todos os dias, pela fé que sempre me depositara e pela parceria em todos os momentos de nossas jornadas, Junior Iwata.

A Paulino Mussio por todo o cuidado e carinho a mim dedicados ao longo desse trabalho.

Aos meus amigos e eternos irmãos Regis Santos, Izabel Almeida, Bruno Meneses e Tiago Silva por fazerem esses quatro anos a maior prova de amizade verdadeira e parceira. Vocês foram “a minha casa” longe de casa! Obrigada pela honra de tê-los conhecido.

À Universidade Federal do Ceará e o Departamento de Ciências do Solo.

À minha orientadora Professora Doutora Mirian Cristina Gomes Costa por toda a dedicação e apoio ao meu trabalho, pelos ensinamentos e compreensão nos momentos difíceis ao longo da construção dessa pesquisa.

Ao meu co-orientador pesquisador Doutor Luiz Fernando Carvalho Leite por mais uma vez acreditar no meu trabalho, pela amizade e apoio na realização dessa pesquisa através da Embrapa Meio Norte.

Ao professor Doutor João Ambrósio de Araújo Filho por ser fundamental na execução da pesquisa, com seus imensuráveis conhecimentos e amizade. Aproveitando ainda para agradecer o Emanuel e Dona Celeste que sempre me receberam com tanto carinho e acolhimento na fazenda Cajueiro do Boi, em Bela Cruz.

À professora Doutora Deborah Pinheiro Dick pelo apoio no laboratório de Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e pela amizade e acolhimento durante a minha estada em Porto Alegre e Gramado. E ainda aos amigos Lu Morosino, Ana Ludeke e Vicente Kramer por todo o apoio e amizade nos dias de Porto Alegre.

Aos grandes mestres, Ricardo Romero e Tiago Osório, pelas aulas mais longas e perfeitas de gênese do solo, e ao professor Assis Junior pelo dom de transmitir sabedoria.

Aos colaboradores-chave dessa pesquisa, que estiveram em campo e laboratório apoiando cada etapa desse trabalho, muito obrigada meus amigos, a vocês: Fabricio Martins, Leonardo Normando, Diego Lourenço, Daniele Varelo, Davi Alencar, Davi Coelho, Bruno Sousa, Paulo, Seu Geraldo.

Aos técnicos em laboratório pelo apoio essencial: meu amigo Afonso Abreu (Embrapa Meio Norte), Fátima (UFC), Sr. Tavares e Sr. Antônio José (Funceme).

Às minhas “sisters” do ap 402, eternas amigas Alana Leu, Samia Paiva, Socorro Peixoto e Keiviane Lima pelos dias de luta e alegria que dividimos em nossa morada, assim como as primeiras parceiras de república Adriana Oliveira, Chloe Le Grand e Esther Laurens, que bem me acolheram nos primeiros dias em Fortaleza.

À melhor turma de todos os tempos do programa, toda reunida em uma sala, muito obrigada a Regis Santos, Tiago Silva, Ronaldo Oliveira, Gabriel Nuto, Daniel Barbosa, Vitor Oliveira, Bruno Laécio, Adriana Oliveira, Francisca Mirlanda, Junior Tupinambá, Aldênia Macena, Emanuel da Ju e Ju do Emanuel.

Aos colegas e alunos do IFPI pelo apoio e credibilidade que sempre me deram.

Uma das coisas que aprendi é que se deve viver apesar de. Apesar de, se deve comer. Apesar de, se deve amar. Apesar de, se deve morrer. Inclusive muitas vezes é o próprio apesar de que nos empurra para a frente.

Clarice Lispector

RESUMO

Altas temperaturas, baixos índices de pluviosidade, solos pouco intemperizados e baixa produção de fitomassa são as principais características ambientais das regiões semiáridas. Esses fatores tornam os solos dessas regiões vulneráveis aos processos de perda de qualidade e, conseqüentemente, do potencial produtivo. Além disso, esses fatores aliados a práticas de manejo convencionalmente exaustivas, como a agricultura de corte e queima, aceleram o processo de degradação do solo. Diante do exposto, alternativas de uso da terra como os Sistemas Agroflorestais (SAFs), têm sido propostas como promotoras da sustentabilidade na utilização agrícola do solo. Para a verificação da eficiência de sistemas de manejo, o carbono tem sido considerado como excelente indicador de qualidade do solo. Neste sentido, o objetivo foi verificar o manejo com adição de resíduos orgânicos em um sistema de cultivo em aleias e seus efeitos sobre as frações do carbono, além da disponibilidade de nutrientes provenientes desses resíduos. O estudo foi realizado no município de Bela Cruz, semiárido cearense. O delineamento experimental foi em parcelas subdivididas no espaço, no qual nas parcelas principais foi estudado o fator fogo (com fogo e sem fogo) e nas subparcelas foi estudada a adição de resíduos orgânicos (poda da leguminosa gliricídia; poda da leguminosa gliricídia e bagana de carnaúba; poda da leguminosa gliricídia e biocomposto; poda da leguminosa gliricídia, bagana de carnaúba e biocomposto) nas profundidades de coleta de solo (0-10, 10-20 e 20-40 cm). Com o estudo foi constatado que, embora tenham transcorridos seis anos após o preparo com fogo, houve maior velocidade de decomposição de resíduos e redução na disponibilidade de nutrientes e das frações da matéria orgânica nas aleias manejadas com queima. Além disso, o fogo promoveu reduções significativas tanto nas frações estáveis quanto nas frações lábeis da matéria orgânica, diferentemente do efeito dos resíduos orgânicos, sendo que nas aleias com manejo conjugado dos resíduos predominou maiores teores de nutrientes do solo, valores de pH mais básicos e compartimentos da matéria orgânica conservados (tanto os compartimentos estáveis quanto os lábeis), além de maiores estoques de carbono. Observou-se ainda que o C3 foi referência isotópica do C comum entre os resíduos e estes com o C do solo das aleias.

Palavras-chave: agroflorestas, leguminosas, qualidade da matéria orgânica do solo.

ABSTRACT

High temperatures, low levels of rainfall, little weathered soils and low phytobiomass production are the main soil and climatic characteristics of the semiarid regions. These factors make the soils of these areas highly vulnerable to loss of quality processes and, consequently, loss of productive potential. In addition, these factors combined with conventionally comprehensive management practices, such as cut and burn agriculture, accelerate soil degradation process. Given the above, land use alternatives such as Agroforestry Systems (AFSs) have been proposed as promoting sustainability in the agricultural land use. To verify the effectiveness of different management systems, carbon has been considered as excellent indicator of soil quality. In this sense, we propose to study the management with the addition of organic waste in a cropping system in alleys and its effects on the carbon fractions, besides the availability of nutrients from such waste. The study was conducted in the municipality of Bela Cruz, semiarid of Ceara. The experimental design was split plot in space, being a 2x4x3 factorial with four replications. In the main plots was studied the fire factor (with fire and without fire); the the subplots studied the addition of organic waste (pruning of legume *Gliricidia*; pruning of legume *Gliricidia* and carnauba straw, pruning of *gliricidia* and biocompound; pruning of legume *gliricidia*, carnauba straw and biocompound) and the sub-subplots studied the depths of soil sampling (0-10, 10-20 and 20-40 cm). The study found that although five years elapsed after preparation with fire there was a greater waste decomposition rate and reduction in the availability of nutrients and organic matter fractions in the alleys managed to burn. Moreover, the fire reduced significantly in both stable and in the fractions of labile organic matter, unlike the effect of the different organic residues, which in conjunction alleys under the management of the waste predominant higher levels of soil nutrients, more basic pH and magazines preserved organic matter, both stable compartments as labile, and higher carbon stocks. It was also observed that the C3 was isotopic reference the common C between residues and these with the C soil of alleys.

Keywords: agroforestry, legumes, quality of soil organic matter.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1	<i>Sistemas agroflorestais como prática conservacionista no semiárido.....</i>	15
2.2	<i>Leguminosas arbóreas e resíduos orgânicos como fonte de carbono e nutrientes no cultivo em aleias.....</i>	18
2.3	<i>Aporte e decomposição de resíduos orgânicos e a liberação de nutrientes em agroecossistemas.....</i>	21
2.4	<i>Dinâmica do carbono em agroecossistemas.....</i>	23
3	CAPÍTULO I. DECOMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS EM SISTEMA AGROFLORESTAL NO SEMIÁRIDO.....	26
3.1	RESUMO.....	26
3.2	ABSTRACT.....	26
3.3	INTRODUÇÃO.....	27
3.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.4.1	<i>Localização e caracterização da área de estudo.....</i>	28
3.4.2	<i>Manejo da área experimental.....</i>	29
3.4.3	<i>Estudo da decomposição dos resíduos</i>	30
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
3.6	CONCLUSÕES.....	37
3.7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38
4	CAPÍTULO II. ATRIBUTOS QUÍMICOS EM ARGISSOLO DO SEMIÁRIDO MEDIANTE ADIÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS EM SISTEMA AGROFLORESTAL.....	41
4.1	RESUMO.....	41
4.2	ABSTRACT.....	41
4.3	INTRODUÇÃO.....	42
4.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	43
4.4.1	<i>Localização e caracterização da área de estudo.....</i>	43
4.4.2	<i>Manejo da área experimental.....</i>	44

4.4.3	<i>Atributos químicos do solo e delineamento experimental.....</i>	44
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
4.6	CONCLUSÕES.....	53
4.7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
5	CAPÍTULO III. FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA E SENSIBILIDADE DO CARBONO EM ARGISSOLO MANEJADO COM RESÍDUOS ORGÂNICOS EM SISTEMA AGROFLORESTAL.....	55
5.1	RESUMO.....	58
5.2	ABSTRACT.....	58
5.3	INTRODUÇÃO.....	59
5.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	61
5.4.1	<i>Localização e caracterização da área de estudo.....</i>	61
5.4.2	<i>Manejo da área e delineamento experimental.....</i>	62
5.4.3	<i>Estoque de carbono.....</i>	63
5.4.4	<i>Fracionamento físico do carbono.....</i>	63
5.4.5	<i>Relação estratificação e índice de sensibilidade.....</i>	63
5.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	64
5.6	CONCLUSÕES.....	70
5.7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
6	CAPÍTULO IV. FRACIONAMENTO E ANÁLISE ISOTÓPICA DA MATÉRIA ORGÂNICA DE ARGISSOLO EM SISTEMA AGROFLORESTAL.....	73
6.1	RESUMO.....	73
6.2	ABSTRACT.....	73
6.3	INTRODUÇÃO.....	74
6.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	75
6.4.1	<i>Localização e caracterização da área de estudo.....</i>	75
6.4.2	<i>Manejo da área e delineamento experimental.....</i>	76
6.4.3	<i>Fracionamento químico do carbono.....</i>	77
6.4.4	<i>Determinação isotópica do carbono.....</i>	78

6.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	78
6.6	CONCLUSÕES.....	83
6.7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83
	REFERÊNCIAS.....	87

1 INTRODUÇÃO

O uso indiscriminado do solo pode torná-lo inviável para a agricultura, principalmente com a inexistência de um sistema de manejo apropriado ou a inadequação desse sistema para as especificidades locais. A região semiárida brasileira se enquadra nesse contexto preocupante de degeneração da capacidade produtiva dos solos. Caracterizada pelas elevadas médias térmicas, irregularidades pluviométricas e solos vulneráveis aos processos erosivos, essas áreas estão sujeitas à perda da qualidade do solo e à redução da capacidade de produção agrícola, principalmente quando submetidas a práticas de manejo incompatíveis com suas condições.

Para minimizar as perdas de qualidade do solo tem-se buscado alternativas de manejo que promovam maior sustentabilidade ao seu uso agrícola e incremento dos índices de produção das culturas. Os Sistemas Agroflorestais (SAFs) - que utilizam o cultivo em aleias - têm sido propostos como alternativa viável. A sustentabilidade das aleias é calcada, principalmente, na melhoria dos atributos químicos do solo, visto que há maior aporte de resíduos orgânicos, aumentando a oferta e a ciclagem de nutrientes, como também o aumento do potencial do sistema em sequestrar carbono. Assim, estes sistemas podem atuar como alternativa sustentável de uso do solo agrícola na região semiárida, substituindo práticas convencionais e impactantes, tais como a agricultura de corte e queima, ainda utilizada nessa região.

As leguminosas têm sido utilizadas nos SAFs como as principais espécies fornecedoras dos resíduos orgânicos que atuam na promoção dos benefícios das aleias. Além desses materiais, outros resíduos podem ser utilizados, tais como os esterco, restos culturais, cinzas e, para a região Nordeste, ressalta-se a bagana de carnaúba. As distintas propriedades físicas, químicas e orgânicas desses resíduos influenciam a dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS), visto que afetam a qualidade dos compostos orgânicos formados e o grau de estabilização destes compostos, garantindo maior ou menor tempo de atuação da MOS sobre as propriedades do solo.

O estudo da dinâmica da MOS tem sido utilizado como indicativo de perda ou ganho da qualidade do solo, monitorando a eficiência de sistemas de manejo. Apesar da dinâmica e qualidade da MOS serem amplamente estudadas em áreas de clima temperado, ainda são incipientes os estudos realizados em regiões de clima tropical. No Brasil, trabalhos que tratam do estudo do carbono do solo na região semiárida são ainda mais escassos,

aumentando a demanda por pesquisas que verifiquem eficiência de sistemas de manejo adotados e seus impactos no carbono dos solos nessa região.

Logo, neste estudo foram testadas as seguintes hipóteses: 1) Os efeitos do uso do fogo no preparo da área não são identificados após período de seis anos de cultivo em aleias; 2) A presença das leguminosas acelera a decomposição da MOS e a liberação de nutrientes; 3) O uso de diferentes resíduos promove maior equilíbrio entre as frações estáveis e lábeis da MOS; 4) A adição conjugada dos resíduos da poda da gliricídia, da bagana da carnaúba e de biocomposto promove maior estabilização da matéria orgânica do solo; 5) A MOS é composta principalmente pelo carbono proveniente dos resíduos orgânicos aportados no SAF.

O presente estudo teve como principal objetivo avaliar o efeito de resíduos orgânicos aplicados em aleias sobre as diferentes frações do carbono, sobre a produção e a qualidade da matéria orgânica e a disponibilidade dos nutrientes provenientes dos resíduos utilizados em SAF na região semiárida. Os objetivos específicos deste estudo foram: verificar a quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo sob diferentes manejos e estudar a decomposição dos resíduos por método direto (teste de decomposição) e as influências desses resíduos sobre os atributos químicos do solo e compartimentos da MOS.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Sistemas agroflorestais como prática conservacionista no semiárido

As zonas ou regiões áridas e semiáridas ocupam aproximadamente 40% da superfície terrestre e contêm uma população com mais de dois bilhões de pessoas. Elevadas temperaturas, baixos índices de pluviosidade, solos pouco intemperizados e pequena produção de fitomassa são as principais características ambientais das regiões semiáridas (MAIA *et al.*, 2006). São áreas susceptíveis à desertificação, degradação do solo e seca; além disso, sua população, ecossistemas e agricultura são vulneráveis às mudanças climáticas. Como resultado de todos esses fatores, as regiões semiáridas configuram-se em ambiente frágil, tanto do ponto de vista ambiental quanto socioeconômico (BREMAN; KESSLER, 1997; SÁNCHEZ, 2001).

A fragilidade das regiões semiáridas tem sido negligenciada, visto que nessas áreas ainda são adotados modelos agrícolas extrativistas e extensivos que são pouco conservacionistas, como o sistema de corte e queima que ainda é amplamente utilizado no semiárido. Segundo Araújo Filho (2002), a agricultura da região é desenvolvida à custa de desmatamento indiscriminado, queimadas e períodos de pousio inadequados. Há ainda intensa extração de lenha e madeira para atender à demanda familiar, de cerâmicas e de padarias, contribuindo para a redução da vegetação da Caatinga. Estudos de avaliação dos impactos das mudanças climáticas sobre a estabilidade dos biomas do Brasil indicam que o bioma Caatinga, característico da região semiárida brasileira, está entre os mais vulneráveis num cenário de modificações ambientais globais, o que representa forte fator de pressão ambiental para a região (INSA, 2011).

Na região semiárida os fatores que levam à degradação do solo são mais intensos em razão da elevada quantidade de energia radiante (13–19 MJ m⁻²dia), da menor variação do comprimento do dia e das elevadas temperaturas que, associadas com a disponibilidade de água durante a época chuvosa do ano, resultam em altas taxas de oxidação dos restos vegetais e da matéria orgânica do solo (FRAINDEIRAICH, 2000; MIELNICZUK *et al.*, 2003). Isso se verifica, principalmente, em áreas recém-desmatadas, submetidas ao cultivo itinerante e intensivo, onde a acelerada mineralização da matéria orgânica leva a perdas da produtividade vegetal (SALCEDO *et al.*, 1997; TIESSEN *et al.*, 1992). Esses fatores, associados à ocorrência de chuvas de alta intensidade, exigem práticas de manejo do solo que priorizem a cobertura permanente e a manutenção da matéria orgânica. Assim, alterações ambientais promovidas pelo desmatamento e pelo aumento da exploração agrícola vêm reduzindo

significativamente as coberturas florestais, provocando degradação dessas áreas e diminuindo a qualidade do solo.

Giongo *et al.* (2011) ressaltam que os processos de degradação do solo no semiárido estão relacionados às práticas de manejo adotadas no seu uso. Logo, devem ser propostos sistemas que garantam maior flexibilidade em termos de adaptação aos espaços do semiárido e que sejam capazes de, em equilíbrio com a necessidade de preservação ambiental, elevar os níveis de produtividade biológica a patamares de viabilidade econômica.

Neste contexto, sistemas conservacionistas, como os Sistemas Agroflorestais (SAFs), em virtude da semelhança com sistemas naturais (BARROS *et al.*, 2008), têm sido apontados como alternativa sustentável de manejo do solo. Os SAFs referem-se a uma ampla variedade de formas de uso da terra, nas quais árvores e arbustos são cultivados de forma interativa com cultivos agrícolas, pastagens e/ou animais, visando múltiplos propósitos. No Brasil, a utilização desses sistemas é legalmente incentivada pelas políticas ambientais, visto que sua instalação é permitida em Áreas de Preservação Permanente (APP), inclusive em matas ciliares localizadas em pequenas propriedades ou posses rurais caracterizadas como familiares, desde que sejam ambientalmente sustentáveis e apresentem licença especial concedida por órgãos ambientais (CONAMA, 2006).

A implantação de SAFs tem sido direcionada para locais onde os modelos tradicionais de exploração (desmatamentos, uso do fogo, seguidos pela atividade agropecuária) já exportaram muitos nutrientes, tais como nos modelos adotados no semiárido brasileiro, tornando-se a agrofloresta uma tentativa para gerar produtos e recuperar o ambiente (CAMPELLO *et al.*, 2005). O presente interesse no estudo de SAFs reside, principalmente, no potencial que esse sistema de cultivo apresenta em aumentar a sustentabilidade econômica e ecológica dos agroecossistemas. Além disso, as intervenções agroflorestais são frequentemente citadas por contribuírem em vários aspectos do ambiente social e cultural, por meio da criação de estabilidade com o direito de posse da terra, tornando possível maior eficiência no uso dos fatores de produção e reduzindo o risco econômico da inversão.

Em áreas semiáridas há também a ocorrência de solos com baixa disponibilidade de nutrientes devido às perdas por processos de lixiviação e erosão, logo os SAFs podem proporcionar melhorias das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, pois as espécies vegetais promoverão a ciclagem de nutrientes desde as camadas mais superficiais até as camadas mais profundas, por meio da queda de folhas e translocação de nutrientes, assim como o sistema radicular profundo das espécies perenes. Além disso, segundo Passos e

Coutinho (1997), a diversificação das espécies a serem utilizadas no SAF poderá controlar ou reduzir o desenvolvimento do potencial tóxico de insumos externos sobre o solo (defensivos, contaminantes, poluentes), bem como atuar sobre processos de acidificação e salinização.

Em solos com textura arenosa e baixo teor de matéria orgânica (MOS) há maior vulnerabilidade ao processo erosivo. Logo, a adoção dos SAFs reduz os riscos de erosão, visto que o consórcio é realizado com espécies que ocupam diferentes estratos de copa, podendo atuar na redução do impacto das chuvas, proporcionar refúgio contra a radiação solar, regulação térmica e controle da ação dos ventos, diminuindo o potencial dos fatores que causam a erosão.

A diminuição das variáveis microclimáticas também é um dos fatores benéficos que os SAFs trazem ao ambiente. Nesses sistemas o dossel das espécies perenes assume o papel de proteger o solo da radiação solar direta no período diurno e impedir a perda de energia à noite, diminuindo a amplitude de variação de temperatura e umidade. Dessa forma, o sombreamento é um dos benefícios trazidos pelos SAFs, principalmente em locais onde as condições de solo não são muito favoráveis e nos locais em que a pluviosidade é concentrada ou que apresentam temperatura elevada (BROONKIRD *et al.*, 1984). Logo, aumentar a infiltração da água no solo e promover a maior retenção desta ao longo do perfil é fundamental papel exercido pelos SAFs, principalmente nas regiões em que ocorre a concentração das chuvas em um curto período do ano e em que ocorrem problemas com escassez de chuvas na maior parte do ano.

Observa-se que os SAFs possuem potencial para gerar benefícios nas áreas em que são instalados. A presença de componentes florestais arbóreos adicionados à diversidade de espécies, propicia a deposição contínua de resíduos vegetais, o que facilita a manutenção e o aumento nos teores de matéria orgânica do solo (OELBERMANN *et al.*, 2006; SMILEY; KRUSCHEL, 2008), afetando diretamente os atributos físicos (SAHA *et al.*, 2001), químicos e biológicos (DELABIE *et al.*, 2007; HUERTA *et al.*, 2007; NORRGROVE *et al.*, 2009). Em última análise, os SAFs proporcionam benefícios ambientais, como a conservação da biodiversidade, o sequestro de carbono e a melhoria no controle de qualidade da água (MCNEELY; SCHROTH, 2006; NAIR, 2008; REITSMA *et al.*, 2001).

Apesar da região Amazônica ser ainda a responsável pela maior difusão das agroflorestas em terras cultiváveis, diante dos benefícios verificados os SAFs têm sido apontados como alternativa viável para as regiões semiáridas brasileiras. Os SAFs utilizados nas zonas semiáridas são ditos de base ecológica, visto que agregam condições ambientais e

ecológicas, com base nas condições ecológicas específicas do sistema (PASSOS; COUTO, 1997).

Considerando os efeitos benéficos da adoção dos SAFs para o semiárido, o mais relevante está relacionado com a formação da serapilheira, visto que as condições climáticas da região reduzem substancialmente essa biomassa em sistemas de manejo convencional. Logo, a biomassa que forma a serapilheira nos SAFs é resultante da interação dos fatores genéticos e ambientais, sobretudo da poda direcionada das árvores e outras espécies (SILVEIRA *et al.*, 2007), aumentando a produção e diversificando a serapilheira.

A serapilheira tem papel fundamental na manutenção da sustentabilidade por proporcionar gradualmente o retorno dos nutrientes para as plantas (POLYAKOVA; BILLOR, 2007). Além disso, pode indicar a capacidade produtiva da floresta ao relacionar os nutrientes disponíveis com as necessidades nutricionais de uma dada espécie arbórea (FIGUEIREDO FILHO *et al.*, 2003). A quantidade de serapilheira e o conteúdo de nutrientes aportados ao solo pelo povoamento refletirão na capacidade produtiva e no potencial de recuperação ambiental, tendo em vista as modificações que ocorrerão nos atributos químicos do solo (SCHUMACHER *et al.*, 2004). A qualidade de serapilheira inicial influencia a abundância, a composição e a atividade dos microrganismos e da fauna do solo que participam da decomposição do material e determinam a taxa de decomposição e dinâmica de nutrientes (POLYAKOVA; BILLOR, 2007).

Por meio da decomposição de resíduos vegetais e animais, a serapilheira contribui para o acúmulo de matéria orgânica no solo (ALVES *et al.*, 2005) e completa o ciclo dos elementos nutricionais, possibilitando que parte do carbono incorporado na biomassa pela fotossíntese retorne à atmosfera como CO₂ e que os outros elementos absorvidos passem para uma forma novamente utilizável pelas plantas (HOBBELEN; VAN GESTEL, 2007). Logo, os benefícios da serapilheira produzida em SAFs residem nas espécies empregadas para cada condição edafoclimática em que os sistemas serão estabelecidos, assim como nos sistemas de manejo adotados.

2.2 Leguminosas arbóreas e resíduos orgânicos como fonte de carbono e nutrientes no cultivo em aleias

Os Sistemas Agroflorestais que utilizam o modelo de aleia, difundidos na década de 1980 no Brasil e tradicionalmente adotados em regiões tropicais da África e Ásia, são caracterizados pelo uso de culturas agrícolas intercaladas com espécies arbóreas plantadas em

linhas (LOSE *et al.*, 2003). Esse tipo de modelo é alvo de crescente interesse, por ser um modelo agroflorestal que tem promovido consistente melhoria em atributos químicos, físicos e biológicos do solo, especialmente na camada superficial, quando comparado ao monocultivo e a diversos outros sistemas convencionais de uso e manejo agrícola.

Nas aleias, árvores e arbustos de crescimento rápido são implantados em fileiras espaçadas de quatro a cinco metros, intercaladas com culturas agrícolas, sendo periodicamente podadas durante o ciclo para evitar o sombreamento e para atuar como adubação verde para a cultura implantada nas aleias (KANG, 1987). Alguns autores, como Mafra *et al.* (1998) e Vanlauwe *et al.* (2005), afirmam que o uso de aleias melhora a fertilidade do solo e aumenta de forma considerável a produtividade das culturas de interesse alimentar. Além disso, esse modelo de SAF é apontado como prática de manejo com elevado potencial para sequestrar carbono no solo, principalmente em comparação com o sistema de corte e queima, e aumentar a capacidade de retenção da água em virtude do material da poda depositado sobre o solo (AGUIAR *et al.*, 2009).

Os benefícios do cultivo em aleias têm sido atribuídos principalmente à reciclagem mais eficiente dos nutrientes provenientes da fitomassa das podas ou pela serapilheira formada no solo. Além disso, a espécie florestal mostra efeitos benéficos por suas raízes mais profundas que reduzem as perdas de nutrientes por lixiviação, melhorando a distribuição em subsuperfície, e pela maior cobertura do solo que proporciona proteção contra a erosão. Segundo Mendonça e Stott (2003), o sucesso de um sistema desse tipo está relacionado com a quantidade e qualidade do material podado das árvores, com a quantidade de nutrientes liberados dos resíduos durante o processo de decomposição e com a quantidade e o tempo de liberação de nutrientes para satisfazer as necessidades das culturas subsequentes.

Considerando a importância do material vegetal aportado ao solo, diversos trabalhos têm apontado as leguminosas como componentes fundamentais para o sucesso e eficiência das aleias (ALVES *et al.*, 2011; PEINEITI *et al.*, 2008). As espécies do gênero *Leguminosae* possuem ampla utilização humana, desde matriz energética, moveleira e também para a melhoria dos atributos do solo. Também é preciso destacar o potencial forrageiro que as leguminosas possuem, com destaque para sua utilização em agroflorestas que agregam também a produção de forragem, caracterizando um sistema Agrossilvipastoril.

As leguminosas possuem uma das maiores famílias botânicas, com cerca de 18.000 espécies; se caracterizam por terem frutos na forma de vagem, fava ou legume, sendo conhecidas também por *Fabaceae*. São aceitas pelo menos três sub-famílias no grupo:

Papilionoideae, Faboideae e Mimosoideae. Estas espécies estão presentes em todos os biomas brasileiros, fator esse que justifica sua grande utilização, de modo que sua alta capacidade adaptativa, justificada por associações simbióticas com bactérias fixadoras de nitrogênio e associações com fungos micorrízicos que aumentam a superfície de absorção de nutrientes, viabiliza seu desenvolvimento nas mais variadas condições edafoclimáticas (FRANCO *et al.*, 2000).

A associação com bactérias fixadoras de nitrogênio permite que, em solos com baixa disponibilidade de nutrientes, as espécies sejam capazes de obter significativas contribuições da fixação biológica de nitrogênio (FBN), podendo se estabelecer e completar seu ciclo com bons níveis de produtividade (RESENDE *et al.*, 2003; URQUIAGA; ZAPATA, 2000). Desta forma, tem se verificado em diversos estudos o efeito positivo do uso das leguminosas sobre os principais fatores limitantes dos sistemas agrícolas, como o baixo teor de matéria orgânica do solo (MENEZES *et al.*, 2007; ALVES *et al.*, 2011).

Em SAFs, espécies com propriedades favoráveis à adição de nutrientes como nitrogênio (N) e fósforo (P) são fundamentais para o sucesso do sistema de manejo, no qual há fornecimento de nutrientes de maneira mais eficiente para as principais espécies de interesse agrícola. A elevação da disponibilidade de nutrientes é decorrente das grandes quantidades de fitomassa produzida por área e pelas elevadas concentrações de nutrientes na matéria seca da parte aérea das plantas, devido à eficiência de seu sistema radicular em recuperar os nutrientes que estão nas camadas mais profundas do solo.

Assim, as leguminosas arbóreas utilizadas em SAFs têm papel estratégico no processo de crescimento e desenvolvimento das culturas e manutenção do equilíbrio dos nutrientes no solo. Além de fixar grandes quantidades de N e elevar o aporte de biomassa ao solo, estas espécies podem contribuir para a reciclagem de nutrientes de modo efetivo, uma vez que a qualidade do material aportado é geralmente superior àquela oriunda de espécies não leguminosas (CANTÂNIO, 2003). Nos SAFs em aléias que utilizam as leguminosas como fonte de adubação orgânica espera-se que, com a incorporação periódica de quantidades expressivas de biomassa nas entrelinhas, ocorram melhorias em atributos químicos, físicos e biológicos dos solos, com conseqüente aumento do seu potencial produtivo (EIRAS *et al.*, 2011).

Além de aumentar a produtividade das culturas comerciais, as leguminosas também favorecem o acúmulo de matéria orgânica e o sequestro de dióxido de carbono (CO₂). Essas espécies noduladas e micorrizadas têm potencial de contribuir para o incremento do

estoque de carbono (C), visto que seu maior potencial de produção de biomassa garantirá maior aporte de C ao solo (PERIN *et al.*, 2002). Da Silva *et al.* (2009) verificaram incremento de C pelo uso das leguminosas e aumento no potencial de sequestro e recuperação do C do solo no sistema de manejo estudado (BAYER *et al.*, 2000). Amado *et al.* (2001) reforçam que o uso das leguminosas favoreceu, além do incremento de C do solo, a mitigação do efeito estufa, visto que ocorreu maior fixação do C no solo e menor emissão.

Diante dos benefícios promovidos pela adoção de SAFs que utilizam leguminosas como estratégia sustentável de manejo e conservação do solo, estas se apresentam como alternativa para fixação do C e redução do principal gás de efeito estufa, o CO₂ (SOUZA *et al.*, 2012). Logo, os processos de influxo e efluxo de C do solo dependem das práticas de uso e manejo e da adoção de resíduos orgânicos nesse manejo, dentro dos limites impostos pelas condições edafoclimáticas (FRANK *et al.*, 2006).

2.3 Aporte e decomposição de resíduos orgânicos e a liberação de nutrientes em agroecossistemas

A nutrição das plantas está estreitamente relacionada com a capacidade do solo em fornecer os elementos essenciais em forma e proporções adequadas. No entanto, a demanda da planta é geralmente superior às quantidades disponíveis no solo. Logo, práticas de manejo (edáficas, vegetativas ou mecânicas) são utilizadas para suprir esta necessidade. Diante da busca por tecnologias de baixos insumos, têm sido adotados recursos alternativos como resíduos orgânicos e agro-industriais. Esses, quando bem manejados, possuem potencial para agir eficientemente como fertilizantes e/ou como biocidas (RITZINGER; FANCELLI, 2006). A incorporação desses resíduos adiciona nutrientes, melhora a estrutura do solo e diminui os riscos de contaminação do solo e da água pela minimização do uso de insumos externos.

A ciclagem dos nutrientes em um ecossistema abrange as trocas de elementos minerais entre os seres vivos e o ambiente. Essa troca de nutrientes de um compartimento para outro envolve uma série de eventos e é caracterizada em três formas: ciclo geoquímico (trocas de elementos minerais entre ecossistemas), ciclo biogeoquímico ou biológico (trocas químicas entre solo e planta) e ciclo bioquímico (translocação de nutrientes, antes da abscisão foliar, dentro da própria planta) (PRITCHETT, 1979; SCHUMACHER *et al.*, 2004). Dessa forma, os elementos minerais são continuamente transferidos entre os compartimentos vivos e não vivos.

Autores consideram que a ciclagem de nutrientes por meio da queda de serapilheira é importante para a nutrição dos vegetais (BALIEIRO *et al.*, 2004; MELO; RESCK, 2002; VITAL *et al.*, 2004), sobretudo em solos com baixo teor de nutrientes. Os principais mecanismos responsáveis pela transferência de nutrientes da biomassa de espécies arbóreas para o solo são: a deposição de serapilheira, a lavagem da vegetação pela chuva que carrega substâncias minerais e orgânicas presas às estruturas da parte aérea e a decomposição da biomassa morta, que inclui a serapilheira e raízes mortas (GONZALEZ; GALLARDO, 1986; SANCHEZ, 1976;).

Para promover o equilíbrio dos teores de nutrientes do solo e das plantas, além da conservação da serapilheira e do uso de adubos verdes, tem-se também a utilização de esterco. O esterco é uma importante alternativa adotada para o suprimento de nutrientes, com destaque para N e P, em áreas de agricultura familiar na região semiárida e agreste do Nordeste do Brasil (MENEZES; SALCEDO, 2007). Existe, portanto, a intrínseca relação do uso do esterco em sistema de produção associado a solos em que a deficiência de N e P limita a produção.

Silva *et al.* (2007) ressaltam que o uso combinado da adubação verde e do esterco como fonte de nutrientes tem surgido como alternativa de manejo com elevado potencial de fornecimento de nutrientes. No entanto, ainda são incipientes os estudos que tratam da eficiência destas práticas de manejo adotadas isoladamente, e principalmente, combinadas. Destaca-se então a importância de estudos que investiguem a eficiência dessas práticas de manejo no fornecimento de nutrientes para o satisfatório desenvolvimento das culturas, aliado à manutenção da qualidade do solo, principalmente em se tratando das regiões semiáridas.

O estudo da decomposição tem sido utilizado para melhor entender a dinâmica dos resíduos orgânicos. Por se tratar de um processo biológico, a decomposição de resíduos vegetais depende da natureza do material, do volume de produção de biomassa, do manejo da cultura, dos atributos químicos do solo, da qualidade e quantidade dos nutrientes orgânicos disponíveis e de condições climáticas, tais como pluviosidade e temperatura (ALVARENGA *et al.*, 2001; LINCH, 1986). Esses fatores, isolados ou em conjunto, podem influenciar a atividade biológica do solo.

Juntamente com a assimilação de carbono, a população microbiana precisa assimilar nitrogênio para a síntese de diversos compostos, principalmente enzimas. Observa-se que existe estreita conexão entre carbono e nitrogênio na decomposição dos resíduos e, quanto menor é a relação carbono/nitrogênio (C/N), maior é a velocidade de decomposição.

Tanto a dinâmica dessa decomposição quanto a liberação de C e N sofrem efeitos ambientais como os de temperatura e umidade, além da composição bioquímica dos resíduos (AITA; GIACOMINI, 2006; FRANCHINI *et al.*, 2002; RUFFO; BOLLERO, 2003).

2.4 Dinâmica do carbono em agroecossistemas

Os solos de todo planeta representam grande reservatório de carbono (C) com cerca de 1500 Pg de C (BATJES, 1996). Diante disso, verifica-se que o C presente na matéria orgânica do solo pode atuar como fonte ou dreno de dióxido de carbono (CO₂). Torna-se inquestionável o papel do uso e manejo do solo diante da atual situação de desenvolvimento econômico, cujo gargalo encontra-se na redução da emissão de CO₂ para atmosfera. Logo, os efeitos de práticas de manejo sobre o C do solo precisam ser bem entendidos, visando identificar o sistema com potencial de fixar o C atmosférico no solo e contribuir para a mitigação do aquecimento global (COSTA *et al.*, 2008).

Além de atuar como reservatório de C, a matéria orgânica do solo (MOS) possui particular importância na manutenção da produtividade dos agroecossistemas com base no papel central que o carbono desempenha na qualidade e funcionamento do solo, por meio de sua influência sobre os atributos físicos, químicos e biológicos (DING *et al.*, 2012). Dentre os principais atributos do solo influenciados pela MOS se destacam: a estrutura, o suprimento de nutrientes, a capacidade de troca iônica e o tamponamento do pH. Além disso, também merece destaque a atuação da MOS como fonte de energia para os microrganismos, seu potencial de reduzir a contaminação das águas superficiais e subterrâneas pela adsorção de poluentes, além de seus efeitos na disponibilidade de ar e água às raízes das plantas e no desenvolvimento do sistema radicular (MARTINS *et al.*, 2009). Dessa forma, o teor de C altera diretamente a qualidade e a produtividade do solo, ressaltando a importância de sua determinação (SAMPAIO *et al.*, 2012) para avaliar os efeitos das práticas de manejo.

A MOS pode ser dividida em dois componentes: vivo e morto. O componente vivo, que corresponde a apenas 4% do C total do solo, está subdividido em três compartimentos: raízes (5-10%), macrorganismos (15-30%) e microrganismos (60-80%); já o componente morto, que corresponde a 96% do C orgânico total do solo (COT), está subdividido em matéria macrorrgânica e húmus (BARROS, 2013).

A matéria macrorrgânica corresponde ao menor dentre os dois compartimentos, contendo de 10-30% do COT do solo. Esse compartimento consiste de resíduos de plantas em diferentes estágios de decomposição que podem ser separados por uma peneira de malha 250

μm (WOLF; SNYDER, 2003). A matéria macrororgânica, também conhecida por fração leve, pode ser obtida por flotação em líquidos com densidade de $1,6 - 2,0 \text{ g cm}^3$ e tem sido estudada por métodos físicos de fracionamento (DICK *et al.*, 2009).

Em geral, os compartimentos físicos do COT são diferenciados pelo tamanho, incluem resíduos facilmente reconhecidos (tamanho $> 2 \text{ mm}$), múltiplos compartimentos com diferentes características de decomposição ou taxas de transformação e também são caracterizados pelo menor tempo de ciclagem e alta velocidade de decomposição. Portanto, se referem a uma fração bastante lábil, facilmente disponível e mineralizável (MARTINS *et al.*, 2009).

A MOS morta remanescente é conhecida como húmus, sendo formada por substâncias húmicas (SH) e não húmicas (WOLF; SNYDER, 2003). O húmus é formado a partir da polimerização de compostos de cadeias longas da matéria orgânica (BERG; LASKOWSKI, 2006). Nele estão presentes compostos orgânicos com peso molecular relativamente alto, de coloração escura e gerado em reações secundárias de síntese. Essas substâncias apresentam alta complexidade química e estrutural cuja fórmula molecular não é bem definida. Além disso, constituem quase a totalidade da MOS e, devido à sua grande reatividade, caracterizam a fração envolvida na maioria das reações químicas no solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

As SH podem ser divididas em três frações com distintas características físico-químicas: ácidos fúlvicos, solúveis em meio alcalino e ácido diluído; ácidos húmicos, solúveis em meio alcalino e insolúveis em meio ácido diluído; e humina, resíduo insolúvel em meio alcalino e ácido. Essas frações são formadas de uma mistura heterogênea e bastante complexa de moléculas orgânicas, polimerizadas e com massa molecular bastante variável (ROSSI *et al.*, 2013). A caracterização dessas três frações normalmente inclui análises de sua composição química, número de grupamentos acídicos funcionais, grau de polimerização, entre outras, as quais são utilizadas para inferir sobre os processos envolvidos na formação da MOS, bem como sobre eventuais efeitos da MOS nas características do solo (BERG; LASKOWSKI, 2006). Os ácidos fúlvicos são mais reativos do que as outras duas frações pela maior quantidade de grupos carboxílicos e fenólicos que ele contém (MARCHI *et al.*, 2008).

Carmo *et al.* (2012) ressaltam que as funções exercidas pelo C nos atributos do solo podem ser melhor compreendidas pelo estudo dos seus diferentes compartimentos. Os compartimentos da matéria orgânica são responsáveis pela sua alta sensibilidade. Estudos da dinâmica da matéria orgânica têm sido realizados devido às diversas características da mesma,

tais como seus diferentes estados físicos e químicos, bem como pela sua sensibilidade (LEITE *et al.*, 2003; PORUGAL *et al.*, 2008). Os métodos de fracionamento da MOS têm sido utilizados para estudos da dinâmica de carbono do solo desde que observações importantes foram feitas sobre a influência da sua localização e composição na reciclagem de nutrientes (COSER *et al.*, 2012), fatores fundamentais para a avaliação dos sistemas de manejo do solo.

3. CAPÍTULO I. DECOMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS EM SISTEMA AGROFLORESTAL NO SEMIÁRIDO

3.1 RESUMO

As principais características edafoclimáticas do semiárido aliadas a práticas de manejo convencionais, aceleram a degradação do solo. Alternativas de uso da terra como os Sistemas Agroflorestais (SAFs) têm sido propostas buscando a sustentabilidade no uso agrícola do solo. Aliados aos SAFs, resíduos orgânicos são considerados estratégia para reduzir perdas de produtividade e de qualidade do solo. Neste estudo foi avaliada a decomposição de resíduos orgânicos adicionados em SAF em aleias, além da disponibilidade de nutrientes. O estudo foi realizado em Bela Cruz (CE) por meio de experimento no qual foi adotado delineamento em parcelas subdivididas com quatro repetições. Nas parcelas foi avaliado o fator “fogo” (com fogo e sem fogo), enquanto que nas subparcelas foi avaliado o fator “resíduos orgânicos” (gliricidia - G, gliricidia com bagana de carnaúba - GBag e biocomposto - Bio). A sequência de redução de massa seca dos resíduos foi $G > Bio > GBag$, com os seguintes coeficientes de decomposição para as condições com fogo e sem fogo, respectivamente: 0,038 e 0,021 para G; 0,20 e 0,018 para Bio e 0,011 e 0,009 para GBag. Já os valores de tempo de meia-vida (dias) para as condições com fogo e sem fogo, respectivamente, foram: 18 e 33 para G, 35 e 39 para Bio, 63 e 77 para GBag. Os teores de nutrientes nos resíduos orgânicos diminuíram com o tempo. A gliricidia apresentou maior potencial de oferta de N, P, K, Ca e Mg. Mediante manejo com fogo os teores de nutrientes nos resíduos foram menores e diminuíram de forma mais acentuada com o tempo.

PALAVRAS-CHAVE: adubação orgânica, bioma Caatinga, leguminosas.

CHAPTER I. ORGANIC WASTE DECOMPOSITION IN AGROFORESTRY SYSTEM IN THE SEMIARID

3.2 ABSTRACT

The main characteristics of soil and climate in the semiarid coupled to conventional management practices accelerate soil degradation. Alternatives for land use such as Agroforestry Systems (AFS) have been proposed aiming at sustainability in agricultural land use. Allied with the AFSs organic waste is considered strategy to reduce losses in productivity and soil quality. This study evaluated the decomposition of organic waste added in AFS in alleys and the availability of nutrients. The study was conducted in Bela Cruz (CE) through experiment in which was adopted in a split plot design with three replications. In the plots we

evaluated the "fire" factor (with fire and without fire), while the subplots evaluated the "organic waste" factor (gliricidia - G, gliricidia with carnauba straw - GBag and biocompound - Bio). The sequence of dry weight reduction of residues was G > Bio > GBag, with the following decomposition coefficients for the conditions with fire and without fire, respectively, 0.038 and 0.021 for G; 0.20 and 0.018 for Bio and 0.011 and 0.009 for GBag. The half-life values (days) for "with fire and without fire" conditions, respectively, were: 18 and 33 for G, 35 and 39 for Bio, 63 and 77 for GBag. Nutrient concentration in the organic waste decreased over time. The gliricidia showed greater potential to supply N, P, K, Ca and Mg. By handling with fire the levels of nutrients in the waste were lower and decreased more sharply with time.

KEYWORDS: Caatinga biome, legumes, organic fertilization.

3.3 INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro possui economia marcadamente agrícola na qual o uso do solo caracteriza-se pelo corte e queima da vegetação, seguidos da exportação dos produtos pela colheita, sem adoção de práticas que visem repor os nutrientes, levando à degradação das propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos (ASPTA, 2000; MENEZES; SAMPAIO, 2000).

Giongo *et al.* (2011) ressaltam que a degradação do solo no semiárido está relacionada às práticas de manejo. Além disso, as condições naturais da região contribuem com a perda de qualidade do solo, pois resultam em altas taxas de oxidação dos restos vegetais e da matéria orgânica (FRAINDEIRAICH, 2000; MIELNICZUK *et al.*, 2003).

No semiárido há alta variabilidade ambiental e pouca informação sobre tecnologias adaptadas ao uso agrícola dos solos nos ecossistemas da região, resultando em significativas perdas de água e nutrientes por erosão e queimadas (MENEZES *et al.*, 2012). Logo, a agricultura praticada no semiárido brasileiro necessita de estratégias de manejo do solo com menores perdas ambientais e que permitam a manutenção e/ou aumento da produtividade agrícola. Dentre essas estratégias, destaca-se a adubação verde que aumenta a biodisponibilidade de nutrientes, enriquecendo o solo e reduzindo o déficit nutricional das plantas cultivadas. Destaque é dado ao uso de leguminosas devido sua capacidade de fornecer nutrientes aos agroecossistemas.

Além da adubação verde, outra estratégia já utilizada é a adubação orgânica com esterco. Esse resíduo é adotado para suprimento de nutrientes, com destaque para nitrogênio (N) e fósforo (P), em áreas de agricultura familiar na região semiárida e agreste do Nordeste do Brasil (MENEZES; SALCEDO, 2007).

No entanto, ainda são incipientes os estudos que tratam da eficiência da adubação verde e orgânica adotadas isoladamente e, principalmente, combinadas. Silva *et al.* (2007) ressaltam que a combinação da adubação verde e do esterco como fonte de nutrientes é uma alternativa de manejo com elevado potencial de fornecimento de nutrientes. Entretanto, ainda são importantes estudos que investiguem a eficiência dessas práticas de manejo no fornecimento de nutrientes para o satisfatório desenvolvimento das culturas e que proporcione a manutenção da qualidade do solo, principalmente em se tratando das regiões semiáridas.

É válido ressaltar também a importância dos tipos de resíduos orgânicos a serem manejados e a ciclagem dos nutrientes que os constituem, pois a dinâmica da liberação e a quantidade de nutrientes nos resíduos são determinantes para a eficiência desses materiais como fornecedores de nutrientes.

Para melhor entender a dinâmica da ciclagem dos resíduos orgânicos são necessários estudos de decomposição. Por se tratar de um processo biológico, a decomposição de resíduos vegetais depende de diversos fatores, tais como a natureza do material, o volume de produção de biomassa, o preparo do solo (com ou sem fogo), o manejo da cultura, os atributos químicos do solo, a qualidade e quantidade dos nutrientes orgânicos disponíveis e as condições climáticas como pluviosidade e temperatura (ALVARENGA *et al.*, 2001; LINCH, 1986).

Diante do exposto, objetivou-se com a realização deste estudo verificar a dinâmica da decomposição e liberação de nutrientes por resíduos orgânicos em Argissolo Vermelho-Amarelo sob Sistema Agroflorestal em aleias no semiárido cearense.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

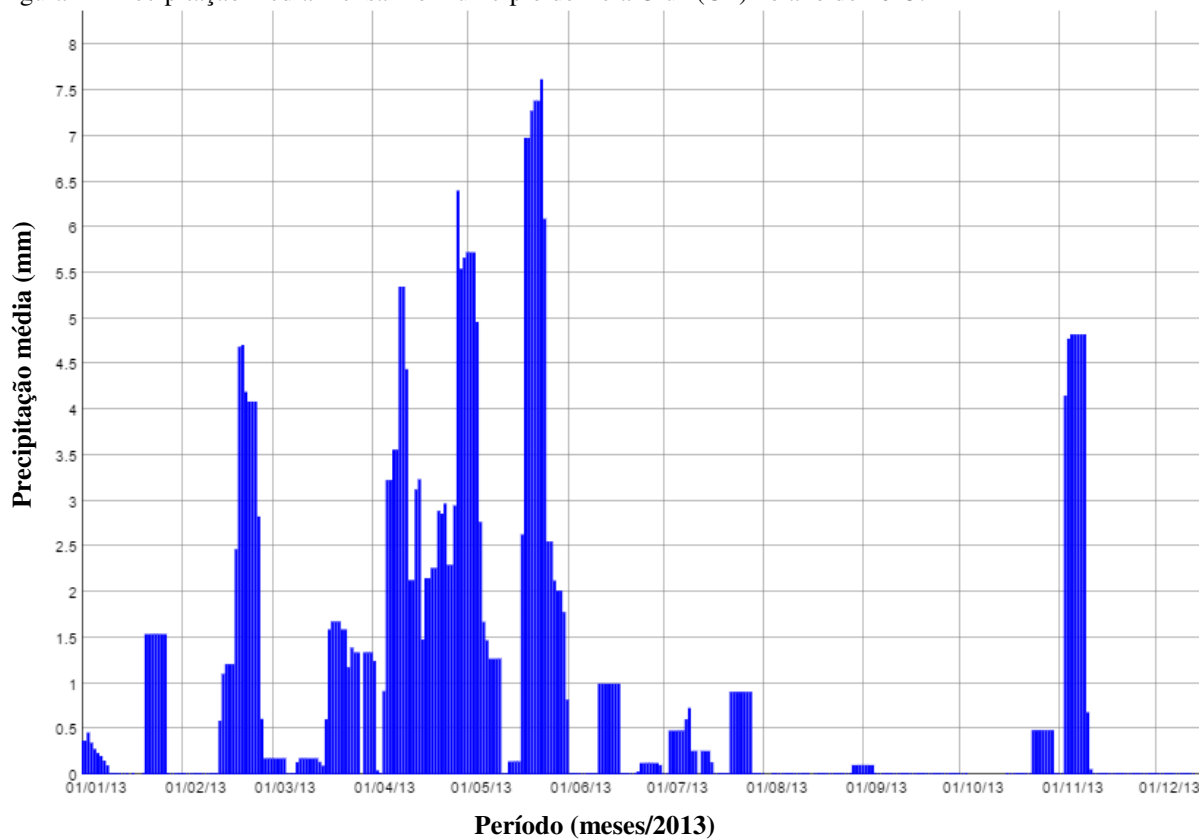
3.4.1 Localização e caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado em Bela Cruz (CE), (3°00'39,29"S/40°13'30,38"W) altitude de 50 m. A área experimental localiza-se em zona transicional com característica fitoecológica do Complexo Vegetacional da zona litorânea, ainda inserido no bioma Caatinga. Geologicamente, a região é denominada como Complexo Nordestino (RADAM, 1980) e

apresenta relevo suave ondulado e solos da classe Argissolo Vermelho Amarelo, com presença de B textural.

O clima da região é caracterizado como tropical quente semiárido (BSw'h'), segundo Köppen (IPECE, 2006), com chuvas de fevereiro a maio; a precipitação pluvial média anual é de 1.096,9 mm e as temperaturas médias variam de 18° a 30° C. No período de realização do estudo, entre os meses de abril e junho, verificou-se médias térmicas de 31°C e taxas de precipitação de 4,0 mm/dia (Figura 1).

Figura 1 - Precipitação média mensal no município de Bela Cruz (CE) no ano de 2013.



Fonte: Agridempo, 2014.

3.4.2 Manejo da área experimental

O SAF foi estabelecido em 2007 e apresenta uma área de aproximadamente um hectare (110m x 90m). Após o corte seletivo da vegetação arbustivo-arbórea, com a preservação de duzentas árvores nativas por hectare, a área foi dividida em duas parcelas de 0,5 ha, uma das quais foi submetida à queima controlada e a outra teve seus garranchos amontoados em cordões de 0,5 m de largura, orientados no sentido perpendicular ao declive e distanciados de 3,0 m. O modelo de cultivo utilizado foi o de aleias, formadas por duas filas de gliricídia com o espaçamento de 0,5 m entre linhas e 0,5 m entre plantas. Foram

estabelecidos o cajueiro (*Anacardium occidentale*), como cultura permanente, a leguminosa gliricídia (*Gliricidia sepium*) para fornecimento de adubo verde, o milho (*Zea mays*) e o feijão de corda (*Vigna unguiculata*) como culturas de interesse alimentar.

Quanto ao manejo, duas práticas diferenciaram as parcelas: o uso do fogo e a adição de resíduos orgânicos (material da poda das leguminosas, biocomposto e bagana de carnaúba). A poda da gliricidia foi realizada duas vezes por ano, ao longo da estação das chuvas. A biomassa da parte aérea (folhas e galhos finos) foi cortada em pedaços com cerca de 10 a 20 cm de comprimento e distribuída sobre o solo das aleias. Quanto à utilização da bagana de carnaúba, aplicou-se o equivalente a 16 Mg ha⁻¹ por toda a área das parcelas em que esse resíduo foi avaliado. Já o biocomposto (folhas de caju, esterco caprino e bagana de carnaúba) foi aplicado na quantidade de 116 g cova⁻¹ na cultura do milho e do feijão, o que correspondeu a 2,3 Mg ha⁻¹.

3.4.3 Estudo da decomposição dos resíduos

Para avaliar a taxa de decomposição dos resíduos orgânicos foi instalado um experimento com delineamento em parcelas subdivididas com quatro repetições, no qual foi avaliado o fator “fogo” nas parcelas principais (com fogo e sem fogo) e o fator “resíduos orgânicos” nas subparcelas (gliricidia - G, gliricidia com bagana de carnaúba - GBag e biocomposto - Bio). A instalação do experimento de decomposição foi em 10/04/2013, quando foram colocados 50 g de resíduos orgânicos frescos sem trituração em *litterbags*, com abertura de malha de 5 mm.

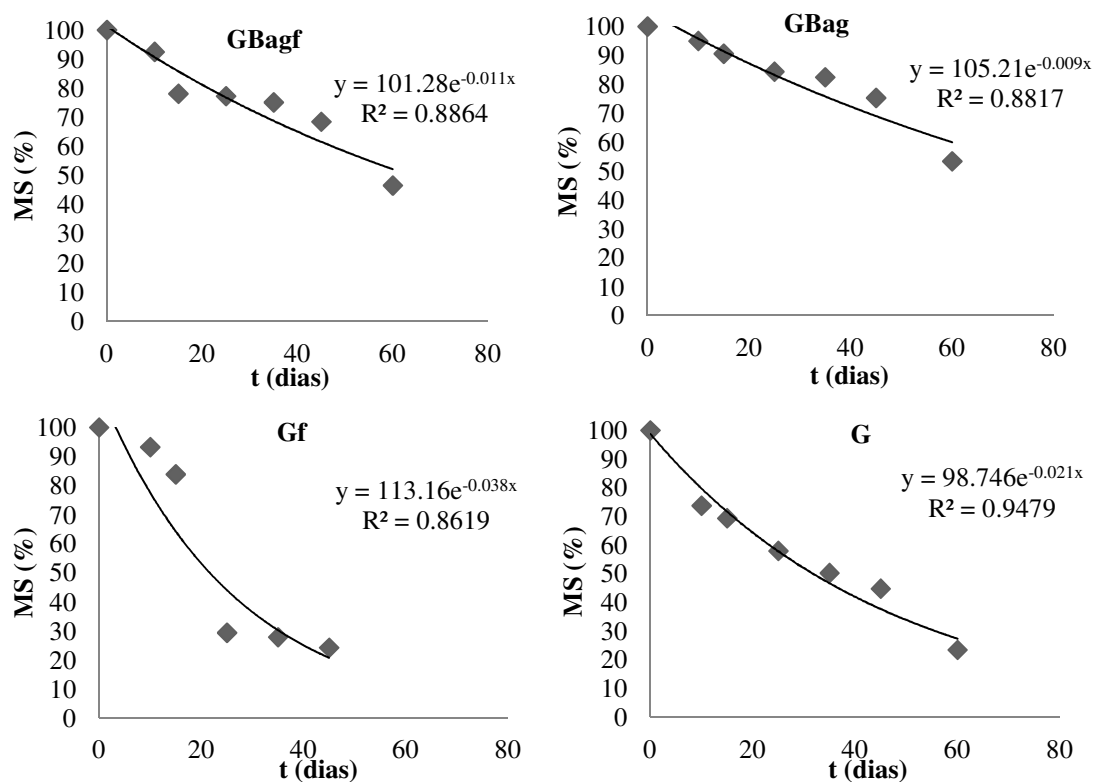
A decomposição dos resíduos vegetais e a liberação de nutrientes foram monitoradas mediante coletas realizadas aos 10, 15, 25, 35, 45 e 60 dias após a instalação do ensaio de decomposição. Após coleta das bolsas, o material foi seco em estufa à temperatura de 65 °C até peso constante, moído e analisado quanto ao conteúdo de carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), zinco (Zn), cobre (Cu) e ferro (Fe). Na extração dos elementos químicos do material coletado (digestão úmida por sistema aberto) e na determinação foram utilizados métodos recomendados em Embrapa (2006).

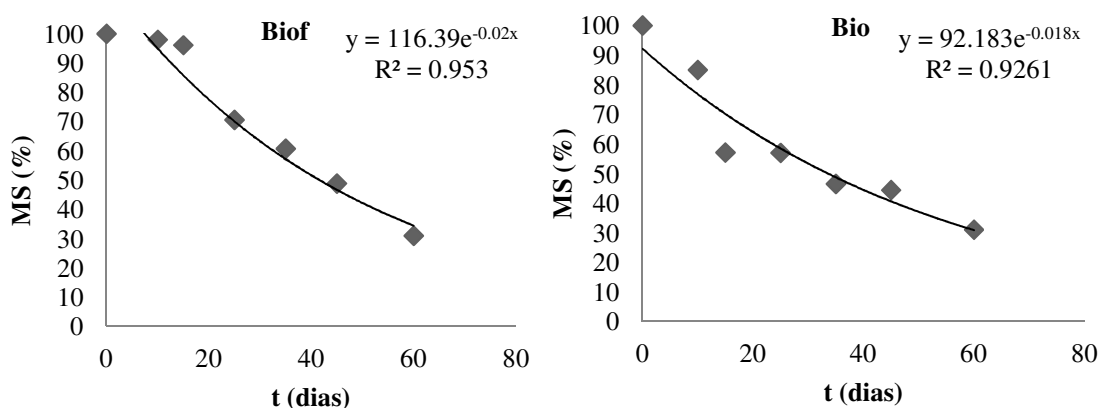
Para análise dos resultados foram elaboradas curvas referentes à perda de massa seca (MS) durante os 60 dias de estudo e calculados os parâmetros de decomposição k e $t_{1/2}$ que correspondem ao coeficiente de decomposição e tempo de meia-vida, respectivamente. Foi realizada a análise de variância dos dados (ANOVA) considerando cada nível de tratamento e teste t de comparação de médias.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A decomposição de massa seca (MS) foi mais acelerada nos resíduos G e Bio em relação à combinação GBag (Figura 2). A menor biodegradabilidade da mistura GBag pode estar relacionada com o componente cerífero presente na bagana de carnaúba, de modo que a complexa mistura de ésteres de ácidos e hidroácidos componentes da cera limita a desidratação e hidratação da palha de carnaúba, consequentemente protegendo-a contra a quebra e decomposição (VILLA LOBOS-HERNÁNDEZ; MULLER-GOYMAN, 2005). Além disso, a bagana de carnaúba possui elevado teor de lignina (12%) (GOMES *et al.*, 2009) e grupamentos químicos que contribuem diretamente com a resistência desse resíduo à decomposição.

Figura 2 - Massa seca remanescente de diferentes resíduos em decomposição em sistema agroflorestal do semiárido cearense.





*G: Gliricidia; Bio: Biocomposto; Bag: Bagana de carnaúba; f: manejo com fogo; a ausência da letra “f” representa manejo sem fogo.

A maior resistência dos resíduos conjugados GBag também pode ser visualizada na Tabela 1 na qual são observados maiores e menores valores de $t_{(1/2)}$ e k , respectivamente para GBag, medidos durante os 60 dias de decomposição. Na combinação GBag os teores de nitrogênio amoniacal fornecidos pela gliricidia poderiam ter auxiliado na quebra do resíduo da bagana pelo aumento da área de exposição ofertada aos microrganismos decompositores (GOMES *et al.*, 2009; ROCHA *et al.*, 2006). No entanto, o efeito da leguminosa não sobrepôs à resistência estrutural da bagana de carnaúba.

Tabela 1. Parâmetros de decomposição da matéria seca (MS) de três resíduos orgânicos em sistema agroflorestal no semiárido cearense.

Resíduos	Equação	k	$t_{(1/2)}$ (dias)	R ²
Gbagf	$y = 101,28e^{-0,011x}$	0,011 b	63	0,88
Gf	$y = 113,16e^{-0,038x}$	0,038 a	18	0,86
Biof	$y = 116,39e^{-0,02x}$	0,020 ab	35	0,95
Gbag	$y = 105,21e^{-0,009x}$	0,009 b	77	0,88
G	$y = 98,746e^{-0,021x}$	0,021 ab	33	0,94
Bio	$y = 92,183e^{-0,018x}$	0,018 ab	39	0,92

*k: coeficiente de decomposição; $t_{(1/2)}$: tempo de meia-vida; G: Gliricidia; Bio: Biocomposto; Bag: Bagana de carnaúba; f: manejo com fogo.

A maior biodegradabilidade dos resíduos da gliricidia (Figura 2) ocorreu conforme observado por ALVES *et al.* (2006) que, em estudo sobre a decomposição de cinco resíduos orgânicos no semiárido paraibano, verificaram que a leguminosa foi a menos resistente ao processo de decomposição e liberação de nutrientes, decorrendo da baixa relação C/N presente na estrutura da gliricidia, além de seus baixos teores de polifenóis e lignina (ALVES *et al.*, 2011). A composição químico-estrutural desta leguminosa garante elevada

mineralização e consequente oferta de nutrientes pela sua alta labilidade (MENEZES; SALCEDO, 2007).

Dentre os resíduos orgânicos estudados, Bio apresentou biodegradabilidade intermediária em relação a G e GBag, conforme observa-se na Tabela 1. A resistência à decomposição do resíduo Bio pode ser explicada pela maneira que o mesmo foi aplicado ao solo. No teste de decomposição os *litterbags* contendo o resíduo Bio foram enterrados simulando a forma de utilização do agricultor que aplica na cova. Thönnssen *et al.* (2000), estudando a decomposição e liberação de nutrientes em resíduos orgânicos em SAFs na Ásia, observaram que os processos de biodegradabilidade variam com o local de disposição dos resíduos, considerando que a profundidade de incorporação influencia na magnitude de temperatura e umidade, que está diretamente relacionada com o desenvolvimento da população microbiana.

Souto *et al.* (2005), estudando a decomposição dos esterco caprinos e outros esterco no semiárido paraibano, verificaram que, apesar do esterco bovino possuir maior relação C/N (27,1) do que o esterco caprino (21,6), o bovino apresentou decomposição mais acelerada em relação ao caprino. A resistência do esterco caprino foi associada pelos autores à estrutura do resíduo que favorece a proteção contra o ataque dos microrganismos, visto que os esterco caprinos e ovinos são excretados em formas de “cíbalas” e possuem uma membrana que os reveste, tornando-os duros quando secos, que contribui para uma maior resistência à decomposição. Hoffmann *et al.* (2001), ao estudarem estratégias para o aumento da fertilidade em solos da Nigéria, verificaram que os esterco caprinos podem ter sua decomposição somente após quase quatro anos.

A quantidade de macro e micronutrientes nos resíduos orgânicos diminuiu no decorrer do tempo. Além disso, as taxas de decomposição de matéria seca e de liberação de nutrientes variaram em função da qualidade nutricional e orgânica de cada resíduo (Tabelas 2, 3 e 4), conforme verificado por Gama-Rodrigues (2007) ao estudar a decomposição e liberação de nutrientes por adubos verdes em Argissolo Vermelho-Amarelo.

O resíduo Bio, juntamente com G, apresentou maior potencial de disponibilizar Ca e Mg, mas apresentou menor potencial de disponibilizar K, cujos teores foram mais altos em G e GBag (Tabela 2). Assim, constata-se o bom potencial dos resíduos de glirícidia em disponibilizar Ca, Mg e K.

Tabela 2. Liberação de macronutrientes pela decomposição de resíduos orgânicos em aleias no semiárido cearense.

Ca (g kg ⁻¹)						
T(dias)	GBag		G		Bio	
	com fogo	sem fogo	com fogo	sem fogo	com fogo	sem fogo
10	2,87 aB	2,68 aB	6,09 bA	7,62 aA	7,63 aA	7,94 aA
15	2,36 aB	2,37 aB	4,66 aA	5,33 aA	5,45 aA	6,25 aA
25	2,14 aB	1,86 bB	3,53 bAB	4,57 aA	4,48 bA	5,25 aA
35	2,14 aB	1,86 bB	2,95 bB	3,78 aAB	3,55 bA	4,75 aA
45	1,52 aB	1,34 aB	2,51 bB	3,12 aA	3,30 aA	4,18 aA
60	1,25 aB	1,09 aBC	0,80 bC	2,43 aA	2,78 aA	2,94 aA

Mg (g kg ⁻¹)						
T(dias)	GBag		G		Bio	
	com fogo	sem fogo	com fogo	sem fogo	com fogo	sem fogo
10	1,73 bC	1,96 aC	3,84 bB	5,31 aA	3,32 aB	2,94 bB
15	1,64 bC	1,90 aC	3,29 bA	3,60 aA	2,75 aB	2,86 aB
25	1,54 bB	1,75 aB	2,85 bA	3,41 aA	2,41 bAB	2,75 aA
35	1,33 bB	1,50 aB	1,94 aA	2,28 aA	2,27 aA	2,05 bA
45	1,12 bB	1,29 aAB	1,64 aA	1,41 aA	1,57 aA	1,81 aA
60	1,04 bB	1,22 aA	1,12 aAB	0,34 bC	1,15 bA	1,56 aA

K (g kg ⁻¹)						
T(dias)	GBag		G		Bio	
	com fogo	sem fogo	com fogo	sem fogo	com fogo	sem fogo
10	2,30 aAB	1,61 bB	3,75 aA	2,86 aAB	0,39 aC	0,33 aC
15	1,99 aAB	1,00 bB	2,56 aA	2,24 aA	0,45 aC	0,38 aC
25	1,55 aA	0,59 bA	0,86 aB	0,94 aB	0,34 aC	0,29 aC
35	0,98 aA	0,50 bB	0,36 bB	0,49 aB	0,30 aBC	0,23 bC
45	0,81 aA	0,42 bB	0,30 aB	0,26 aB	0,26 aBC	0,19 bC
60	0,39 aA	0,33 aA	0,19 bB	0,25 aAB	0,19 aB	0,17 aB

Letras minúsculas comparam médias em resposta aos fatores de tratamento com fogo e sem fogo dentro de cada resíduo orgânico. Letras maiúsculas comparam médias em resposta aos resíduos orgânicos dentro de cada intervalo de tempo.

Em relação à redução no COT pela decomposição, não houve diferença entre os resíduos estudados de modo que todos apresentaram teores de COT semelhantes (Tabela 3). A considerar o efeito positivo das combinações entre resíduos, essas promovem incremento considerável nos teores de carbono (C), contribuindo para melhorias dos atributos físicos e químicos do solo, das atividades biológicas e para incremento da disponibilidade de nutrientes (CAYUELA *et al.*, 2009; MACEDO *et al.*, 2008), levando a uma ciclagem do carbono aportado mais equilibrada.

Quanto à liberação de P e N, os teores foram superiores nos resíduos da glirícidia em relação aos outros dois resíduos (Tabela 3).

Tabela 3. Liberação de carbono, nitrogênio e fósforo pela decomposição de resíduos orgânicos em aleias no semiárido cearense.

COT (g kg ⁻¹)						
T(dias)	GBag		G		Bio	
	com fogo	sem fogo	com fogo	sem fogo	com fogo	sem fogo
10	33,06 aA	33,37 aA	27,01 bB	35,54 aA	33,58 bA	36,21 aA
15	28,89 bA	30,74 aA	20,17 bB	33,05 aA	30,03 bB	33,47 aA
25	27,39 aA	26,73 aA	19,03 bB	31,36 aA	28,29 bB	31,88 aA
35	24,68 aA	23,54 aA	17,32 bB	28,02 aA	27,59 bB	30,32 aA
45	21,78 aA	21,79 aA	16,32 aA	17,77 aA	24,49 bA	27,60 aA
60	17,80 aA	21,21 aA	12,36 bB	11,78 bA	17,80 bA	21,21 aA

N (g kg ⁻¹)						
T(dias)	GBag		G		Bio	
	com fogo	sem fogo	com fogo	sem fogo	com fogo	sem fogo
10	0,66 bCD	0,74 aC	0,78 bC	1,76 aA	0,40 bD	1,34 aB
15	0,58 aBC	0,56 aBC	0,63 bB	0,75 aAB	0,35 bC	0,82 aA
25	0,56 aAB	0,51 bB	0,57 bAB	0,65 aA	0,34 bC	0,59 aAB
35	0,52 aA	0,48 bAB	0,40 aAB	0,46 aAB	0,32 bB	0,51 aA
45	0,39 aA	0,37 aA	0,13 bB	0,40 aA	0,25 aAB	0,28 aAB
60	0,21 aA	0,15 bB	0,01 bC	0,25 aA	0,22 aA	0,15 bB

P (mg kg ⁻¹)						
T(dias)	GBag		G		Bio	
	com fogo	sem fogo	com fogo	sem fogo	com fogo	sem fogo
10	2,77 bB	3,02 aAB	4,36 aA	4,66 aA	1,86 aC	1,89 aC
15	2,51 aB	1,83 bC	3,21 bA	3,99 aA	1,54 aC	1,63 aC
25	2,25 aAB	1,64 bB	2,73 aAB	3,31 aA	1,22 bC	1,44 aC
35	2,13 aA	0,92 bB	2,20 aA	2,44 aA	1,10 aB	1,28 aB
45	1,83 aA	0,71 bC	1,39 aAB	2,05 aA	0,97 aC	1,08 aC
60	1,66 aA	0,41 bB	0,85 aB	1,17 aAB	0,77 aC	0,83 aB

Letras minúsculas comparam médias em resposta aos fatores de tratamento com fogo e sem fogo dentro de cada resíduo orgânico. Letras maiúsculas comparam médias em resposta aos resíduos orgânicos dentro de cada intervalo de tempo.

Diversos estudos têm mostrado o potencial da gliricidia em fornecer P e N vinculados à composição químico-estrutural da leguminosa. A introdução de leguminosas forrageiras fixadoras de N aumenta a disponibilidade desses nutrientes pelo retorno por meio da incorporação de material ao solo (HAKALA; JAUHAINEN, 2007). Esse resultado pode ser justificado, possivelmente, pelo alto teor de N contido na biomassa da gliricidia que acelera a liberação desse nutriente, por apresentar poucos compostos recalcitrantes, permitindo mineralização mais rápida. A gliricidia tem sido base para os sistemas agroflorestais, principalmente por esta característica químico-estrutural produzindo biomassa rica em N (WIJATHUNGA *et al.*, 2006), o que a torna favorável para SAFs no semiárido.

Costa e Arruda (2006) e Eiras e Coelho (2011) reforçam também que, além do incremento de MS ($5.500 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), a gliricidia aumenta a disponibilidade de nutrientes principalmente de N, K, P e Mg. Paulino *et al.* (2011), estudando o uso da gliricidia em aleias em Campo dos Goytacazes (RJ), observaram que a espécie produz um adubo verde de boa qualidade, podendo acumular boa quantidade de nutrientes de baixa relação C:N, especialmente nas partes mais tenras ou menos lignificadas.

Embora a gliricidia tenha disponibilizado significativos teores de macronutrientes pela sua decomposição no SAF, as pequenas taxas de precipitação durante o período estudado podem ter comprometido a nutrição dessa planta e, conseqüentemente, a liberação dos teores de nutrientes observados durante a decomposição. Freire *et al.* (2012), estudando o efeito do estresse hídrico sobre a gliricidia na Paraíba, verificaram significativo efeito da baixa disponibilidade hídrica sobre a massa seca e os teores de N, P, Ca, Fe, Mn e Zn nos resíduos da leguminosa.

A disponibilidade dos micronutrientes Zn, Cu, Fe e Mn foi significativamente superior no resíduo Bio ao longo dos 60 dias de decomposição (Tabela 4).

Tabela 4. Liberação de micronutrientes pela decomposição de resíduos orgânicos em aleias no semiárido cearense.

Zn (mg kg^{-1})						
T(dias)	GBag		G		Bio	
	com fogo	sem fogo	com fogo	sem fogo	com fogo	sem fogo
10	44,38 aB	42,87 aB	37,96 aC	38,61 aC	47,56 bB	54,45 aA
15	38,93 aB	37,02 aB	30,59 aC	32,97 aC	41,99 bB	47,33 aA
25	30,71 aD	33,89 aCD	27,86 bC	30,41 aD	38,25 bBC	44,12 aA
35	27,22 bC	32,24 aB	24,53 bD	29,08 aBC	35,72 bB	42,17 aA
45	26,02 bC	30,71 aBC	20,46 bD	27,63 aC	33,51 bB	40,08 aA
60	23,73 bB	27,22 aB	15,87 aE	21,65 aD	31,27 bA	37,26 aA

Cu (mg kg^{-1})						
T(dias)	GBag		G		Bio	
	com fogo	sem fogo	com fogo	sem fogo	com fogo	sem fogo
10	25,41 aA	22,84 aA	17,96 aB	18,62 aB	21,05 aA	19,12 aB
15	16,17 bA	18,81 aA	13,95 bB	16,28 aA	16,47 aA	16,72 aA
25	14,88 bA	17,25 aA	12,84 bB	15,26 aA	14,42 bA	15,50 aA
35	13,36 bA	15,53 aA	11,89 bB	14,27 aA	13,04 bA	14,34 aA
45	10,67 bB	13,44 aA	9,69 bB	11,51 aAB	12,24 bA	13,49 aA
60	8,47 bB	11,00 aA	7,43 aB	9,11 aAB	11,08 aA	9,90 aA

Fe (mg kg^{-1})						
T(dias)	GBag		G		Bio	
	com fogo	sem fogo	com fogo	sem fogo	com fogo	sem fogo
10	3,68 bC	12,36 aBC	19,22 aB	23,93 aB	40,89 aA	55,12 aA
15	3,02 bC	7,34 aBC	13,11 aB	16,26 aB	31,11 bA	43,44 aA

25	2,59 bC	5,77 aBC	7,74 bB	12,31 aB	27,63 bA	37,25 aA
35	2,19 bC	5,01 aB	6,31 aB	7,66 aB	22,81 bA	34,73 aA
45	1,38 bD	3,77 aCD	5,00 aC	3,70 bC	19,53 bB	31,19 aA
60	0,32 bD	1,60 aC	3,37 aC	1,73 bC	12,79 bB	27,61 aA

T(dias)	Mn (mg kg ⁻¹)					
	GBag		G		Bio	
	com fogo	sem fogo	com fogo	sem fogo	com fogo	sem fogo
10	11,05 aC	9,21 bC	9,97 aC	10,15 aC	26,74 bB	42,01 aA
15	10,24 aC	8,66 bC	7,81 aC	8,79 aC	23,64 bB	31,70 aA
25	9,30 aB	7,96 bB	6,54 aB	7,26 aB	21,59 bA	28,16 aA
35	8,64 aB	7,62 bB	6,06 bB	6,61 aB	20,89 bA	26,98 aA
45	7,66 aB	6,84 aB	5,31 aB	5,84 aB	18,98 bA	24,17 aA
60	6,33 aB	4,97 aB	3,55 aB	4,05 aB	16,39 bA	20,66 aA

Letras minúsculas comparam médias em resposta aos fatores de tratamento com fogo e sem fogo dentro de cada resíduo orgânico. Letras maiúsculas comparam médias em resposta aos resíduos orgânicos dentro de cada intervalo de tempo.

A maior disponibilidade de micronutrientes no resíduo Bio pode estar relacionada à maior variedade de componentes presentes nesse resíduo, pois promovem aumento da biomassa microbiana e consequente aceleração no processo de mineralização e disponibilidade de nutrientes ao solo (CAYUELA *et al.*, 2009), mesmo mediante baixa precipitação no período estudado (Figura 1). Fernandes (2006) afirma que a presença do Zn nos horizontes superficiais do solo é dependente da liberação desse nutriente dos resíduos orgânicos depositados na superfície e de sua capacidade de fixação à matéria orgânica e a alguns colóides do solo, o que pode ter correlação principalmente com a presença da leguminosa gliricídia. Barbosa *et al.* (2013), ao estudarem os efeitos do uso da adubação verde com leguminosas no cultivo da bananeira no semiárido cearense, verificaram que a gliricídia aumentou os teores de micronutrientes do solo.

A utilização do fogo no preparo do solo também afetou a quantidade e a liberação dos nutrientes dos resíduos orgânicos. Foram observados menores teores de macro e micronutrientes nos resíduos presentes nas parcelas com uso do fogo do que na decomposição dos resíduos nas aleias manejadas com fogo. Além disso, para a maior parte dos nutrientes foi observada redução mais acentuada nos teores com o passar do tempo mediante uso do fogo.

Em diversos trabalhos tem-se demonstrado que mediante uso do fogo ocorre liberação mais rápida dos nutrientes (GATTO *et al.*, 2003; RHEINHEIMER *et al.*, 2003;) e enriquecimento do solo. No entanto, a médio e longo prazos, a catalização da mineralização dos resíduos orgânicos pode comprometer esta disponibilidade, promovendo efeito inverso caracterizado pela redução nos teores dos nutrientes em decorrência da rápida absorção pelas plantas (KNICKER, 2007) e da lixiviação, principalmente em solo com textura mais arenosa.

3.6 CONCLUSÕES

1. A combinação de resíduos da leguminosa gliricidia e a bagana de carnaúba (GBag) apresenta maior resistência à decomposição, o que torna a combinação menos eficiente na oferta imediata de nutrientes, no entanto poderá ser mais eficiente na proteção física do solo;

2. A gliricidia e o biocomposto apresentam bom potencial para ofertar macro e micronutrientes aos agroecossistemas;

3. O uso de resíduos de baixa labilidade combinados com os de alta, como o esterco, a bagana de carnaúba e a gliricidia, é a alternativa de manejo mais adequada para o incremento de nutrientes e a manutenção da qualidade do solo no semiárido;

4. Após seis anos de preparo com queima o fogo ainda exerceu efeito sobre a liberação de nutrientes no solo.

3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRITEMPO. <http://www.agritempo.gov.br/agritempo/mapasProbabilidadeChuva.jsp>>10 out. 2014.

ALVARENGA, R.C.; CABEZAS, W.A.L.; CRUZ, J.C.; SANTANA, D. **Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.22, p 25-36, 2001.

ALVES, R.N.; et al . **Relação entre qualidade e liberação de N por plantas do semiárido usadas como adubo verde**. Rev. bras. eng. agríc. ambient.,Campina Grande , v. 15, 2011 .

ALVES, A. R., SOUTO, J. S.; SOUTO, P. C.; HOLANDA, A. C. **Aporte e decomposição de serrapilheira em área de caatinga na Paraíba**. Revista de Biologia e Ciências da Terra, Campina Grande, v. 6, p. 194-203, 2006.

Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa -ASPTA. **Conversão agroecológica de sistemas agrícolas familiares no Agreste da Paraíba: uma leitura multidisciplinar a partir do enfoque da produção e do manejo da biomassa**. Esperança, ASPTA/CIRAD, 2000. 12p.

CAYUELA, M.L.; SINICCO, T.; MONDINI, C. **Mineralization dynamics and biochemical properties during initial decomposition of plant and animal residues in soil**. Appl. Soil Ecol., LOCAL, v. 41, p 118-127, 2009.

COSTA, J.R. DA, ARRUDA, M.R. DE. O uso de leguminosas em sistemas agroflorestais. Disponível em <<http://www.fazendeiro.com.br/Cietec/artigos/ArtigosTexto.asp>>02 ou 2011.

EIRAS, P.P.; COELHO, F.C. **Utilização de leguminosas na adubação verde para a cultura de milho.** Revista Científica Internacional, LOCAL, v. 17, p 96-124, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, SPI/CNPS, 1999. 412p.

BARBOSA, F.E.L; LACERDA, C.F; FEITOSA, H.O; ANDRADE FILHO, F.; AMORIM, A.V. **Crescimento, nutrição e produção da bananeira associados a plantas de cobertura e lâminas de irrigação.** R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, LOCAL, v.17, p 1271–1277, 2013.

FRAINDERAICH, N. (Coord.). Atlas solarimétrico do Brasil: cartas de isolinhas de radiação solar e insolação. Universidade Federal de Pernambuco; Recife: CHESF, v. 3. 2000. 36 p. **(Relatório Técnico).**

MENEZES, R. S. C.; PRIMO, D. C.; PRIMO, D. C.; MARTINS, J. C. R.; JESUS, K. N.; ALTHOFF, T. D. Fertilidade dos solos no semi-árido. In: **Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas**, Maceió, 2012. Anais...Maceió: SBCS, 2012. 41p.

FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas.** 1.ed. Viçosa: SBCS, 2006. 432p.

FREIRE, A.L.O; LEÃO, D.A.S; MIRANDA, J.R.P. **Acúmulo de massa seca e de nutrientes em gliricídia em resposta ao estresse hídrico e a doses de fósforo.** Semina: Ciências Agrárias, LOCAL, v. 33, 2012.

GATTO, A. et al. **Efeito do método de preparo do solo, em área de reforma, nas suas características, na composição mineral e na produtividade de plantações de *Eucalyptus grandis*.** Revista Árvore, Viçosa, v. 27, p. 635-646, 2003.

GIONGO, V.; MENDES, A.M.S.; CUNHA, T.J.F.; GALVÃO, S.R.S. **Decomposição e liberação de nutrientes de coquetéis vegetais para utilização no Semiárido brasileiro.** Ciência Agronômica, LOCAL, v.42 n.3. 2011.

GOMES, J.A.F.; LEITE, E. R.; CAVALCANTE, A. C. R.; CÂNDIDO, M. J. D.; LEMPP, B.; BOMFIM, M. A. D. & ROGÉRIO, M. C. P. **Resíduo agroindustrial da carnaúba como fonte de volumoso.** Pesquisa agropecuária brasileira. LOCAL, v.44, p.58-67, 2009.

HAKALA, K.; JAUHAINEN, L. **Yield and nitrogen concentration of above- and below-ground biomasses of red clover cultivars in pure stands and in mixtures with three grass species in northern Europe.** Grass and Forage Science, LOCAL, v. 62, p. 312-321, 2007.

HOFFMANN, I.; GERLING, D.; KYIOGWOM, U.B. & MANÉ-BIELFELDT, A. **Farmers management strategies to maintain soil fertility in a remote area in northwest Nigeria.** Agric., Ecosys. Environ., LOCAL, v.86, p 263-275, 2001.

IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Precipitação pluviométrica, 2006. Disponível em:
<http://www2.ipece.ce.gov.br/publicacoes/ceara_em_numeros/2007/territorial/caracterizacao_territorial_red.pdf> Acesso em 12 nov. 2014

KNICKER, H. **How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon?** A review. Biogeochemistry, LOCAL, v.85, p 91-118, 2007.

LYNCH, J.M. **Biotecnologia do solo.** São Paulo, Manole, 1986. 208p.

MACEDO, M.O.; RESENDE, A.S.; GARCIA, P.C.; BODDEY, R.M.; JANTALIA, C.P.; URQUIAGA, S.; CAMPELLO, E.F.C. & FRANCO, A.A. **Changes in soil C and N stocks and nutrient dynamics 13 years after recovery of degraded land using leguminous nitrogen-fixing trees.** For. Ecol. Manage, LOCAL, v.255, p 1516-1524, 2008.

MENEZES, R.S.C.; SALCEDO, I.H. **Mineralização de N após incorporação de adubos orgânicos em um Neossolo Regolítico cultivado com milho.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, LOCAL, v.11, p 361-367, 2007.

MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. de S. B. **Simulação dos fluxos e balanços de fósforo em uma unidade de produção agrícola familiar no semi-árido paraibano.** In: Silveira, L. M.; Petersen, P.; Sabourin, E. (ed.). Agricultura familiar e agroecologia no semiárido: Avanços a partir do agreste da Paraíba. Rio de Janeiro: AS-PTA, 2002. p.249-260

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F. & DEBARBA, L. **Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo.** In: CURTI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S. & ALVAREZ V., V.H. Tópicos em ciência do solo., eds. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.3. p.209-248, 2003.

PAULINO, G.M.; et al. Desempenho da gliricídia no cultivo em aleias em pomar orgânico de mangueira e gravioleira. Rev. Árvore, LOCAL, v.35, n.4, 2011.

RHEINHEIMER, D. S. et al. **Modificações nos atributos químicos de solo sob campo nativo submetido à queima.** Ciência Rural, Santa Maria, v. 33, p. 49-55, 2003.

ROCHA, F.C.; GARCIA, R.; FREITAS, A.W.P.; BERNARDINO, F.S.; ROCHA, G.C. **Amonização sobre a composição química e digestibilidade da silagem de capim-elefante.** Revista Ceres, LOCAL, v.53, p.228-233, 2006.

SOUTO, P. C. et al. **Decomposição de esterco dispostos em diferentes profundidades em área degradada no semi-árido da Paraíba.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, LOCAL, v. 29, p.125-130, 2005.

GAMA-RODRIGUES, A.C.; GAMA-RODRIGUES, E.F. & BRITO, E.C. **Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho-Amarelo na região noroeste fluminense-RJ.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, LOCAL, v.31, p 1421-1428, 2007.

THÖNNISSEN, C. ; MIDMORE, D.J.; LADHA, J. K.; OLK, D. C.; SCHMIDHALTER, U. **Legume decomposition and nitrogen release when applied as green manures to tropical vegetable production systems.** Agronomy Journal, LOCAL, v.92, p. 253-260, 2000.

VILLALOBOS-HERNÁNDEZ, J. R.; M'ULLER-GOYMANN, C. C. **Novel nanoparticulate carrier system based on carnauba wax and decyl oleate for the**

dispersion of inorganic sunscreens in aqueous media. European Journal of Pharmaceutics and biopharmaceutics, LOCAL, v.60, p. 113–122, 2005.

WIJAYATUNGA, P.D.C.; SIRIWARDENA, K.; FERNANDO, W.J.L.S.; SHRESTHA, R.M.; ATTALAGE, R.A. **Strategies to overcome barriers for cleaner generation technologies in small developing power systems: Sri Lanka case study.** Energy Conversion and Management, LOCAL, v. 47, p 1179–1191, 2006.

4. CAPÍTULO II. ATRIBUTOS QUÍMICOS EM ARGISSOLO DO SEMIÁRIDO MEDIANTE ADIÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS EM SISTEMA AGROFLORESTAL

4.1 RESUMO

A fragilidade das regiões semiáridas tem sido negligenciada, visto que nessas áreas ainda são adotados modelos agrícolas convencionais, tais como agricultura de corte e queima, resultando no comprometimento da qualidade dos solos. Nesse contexto, os Sistemas Agroflorestais (SAF) têm sido apontados como alternativa de manejo do solo para o semiárido, principalmente pela capacidade de incrementar matéria orgânica ao solo, o que associado à adição de resíduos orgânicos pode reduzir os processos de degradação. O objetivo do estudo foi quantificar os efeitos da adoção do manejo de resíduos orgânicos sobre os atributos químicos do solo nas aleias de um Sistema Agroflorestal, manejadas com e sem queima. Utilizando parcelas subdivididas, verificou-se o efeito do fogo e dos resíduos orgânicos manejados isoladamente (gliricidia) ou combinados (gliricidia e bagana de carnaúba, gliricidia e biocomposto, e a combinação dos três resíduos. Foi observado que a gliricidia é eficiente no aporte dos nutrientes ao solo, considerando principalmente sua composição química. Observou-se eficácia no uso consorciado dos resíduos orgânicos quanto ao incremento dos nutrientes ao solo, decorrendo da sincronização entre disponibilidade de nutrientes e demanda destes pelo sistema. Logo, SAFs manejados com o consórcio de resíduos orgânicos diversificados é uma alternativa de manejo eficaz no incremento nutrientes e redução na degradação dos solos da região, no qual observou-se a elevação dos teores dos macronutrientes, o aumento dos valores de pH, da CTC, assim como dos micronutrientes.

Palavras-chave: adubação orgânica, leguminosas, fertilidade do solo.

CHAPTER II. CHEMICAL ATTRIBUTES IN ULTISOL OF SEMIARID BY ORGANIC WASTE ADDITION IN AGROFORESTRY SYSTEM

4.2 ABSTRACT

The fragility of the semi-arid regions has been neglected, since these areas still adopt conventional agricultural models such as slash and burn agriculture, resulting in compromised soil quality. In this context, agroforestry systems (AFS) have been suggested as soil management alternative for semiarid, mainly by the ability to increase organic matter to the soil, which associated with the addition of organic wastes can reduce degradation processes. The aim of this study was to quantify the effects of adopting organic residue management on soil chemical properties in the alleys of an Agroforestry System, managed with and without burning. Using split plot, there was the effect of fire and organic waste handled separately (Gliricidia) or combined (gliricidia and carnauba straw, Gliricidia and biocompound and the combination of the three residues. It was observed that Gliricidia is efficient in the inflow of nutrients to the soil, especially considering its chemical composition. It was observed efficacy in the shaded use of organic waste regarding the increase of nutrients to the soil depending on the synchronization between nutrients availability and their demand by the system. Therefore, AFSs managed with consortium of diversified organic waste is effective management alternative in nutrients increase and reduced land degradation in the region, and observed increase in levels of macronutrients, the increase of pH, CTC, as well as micronutrients.

Keywords: organic fertilization, legumes, soil fertility

4.3 INTRODUÇÃO

Atualmente tem-se buscado práticas que visem mitigar a degradação ambiental aliadas à produção de alimentos e ao desenvolvimento sustentável (ROCHA *et al.*, 2014). Nesse sentido, procura-se o estabelecimento de sistemas de produção eficazes para o sequestro e o armazenamento de carbono na fitobiomassa e no solo, assim como maior capacidade de fornecimento de nutrientes reduzindo a necessidade de aporte por meio de fertilizantes minerais.

Neste sentido, os Sistemas Agroflorestais (SAFs), caracterizados principalmente pela combinação de espécies florestais com cultivos agrícolas e adicionados ou não às atividades pecuárias (LIMA *et al.*, 2010), podem funcionar como reguladores da manutenção da qualidade ambiental dos agroecossistemas.

Considerando a região semiárida os SAFs podem ser excelente alternativa, visto que ainda há nessa região fragilidade dos solos quanto ao uso e manejo, historicamente

intensivos e baseados no uso do fogo e marcados pela perda de nutrientes do solo. A presença de componentes florestais arbóreos nos SAFs, aliada à biodiversidade de espécies, propicia deposição contínua de resíduos vegetais. Isso facilita a manutenção da matéria orgânica do solo (OELBERMANN *et al.*, 2006; SMILEY; KRUSCHEL, 2008), afetando diretamente os atributos físicos (SAHA *et al.*, 2001), químicos e biológicos (DELABIE *et al.*, 2007; HUERTA *et al.*, 2007; NORGROVE *et al.*, 2009).

Os serviços ambientais dos SAFs no semiárido podem ser potencializados pela combinação de práticas já adotadas na região, como o uso de resíduos orgânicos. Dentre os resíduos pode ser utilizado o esterco animal visando fornecimento de nutrientes, bem como a bagana de carnaúba visando a cobertura do solo que contribui para retenção de água, fundamental para a região, considerando principalmente os períodos longos de déficit hídrico. Além disso, a utilização do modelo em aleias com espécies leguminosas como adubo verde pode tornar mais eficiente o papel das agroflorestas na reposição da qualidade dos atributos do solo, principalmente químicos. Diversos estudos têm demonstrado que a fertilidade do solo aumenta em sistemas agroflorestais (BOLEY *et al.*, 2009; IWATA *et al.* 2012).

Apesar de diversos estudos referenciar os efeitos positivos sobre o incremento de fertilidade do solo pelo uso de resíduos orgânicos e adoção de SAFs, ainda são necessárias investigações sobre o efeito dessas estratégias de manejo adotadas em combinação, principalmente para regiões semiáridas. Logo, este estudo testou as seguintes hipóteses: 1) O uso do fogo ainda exerce efeito sobre a disponibilidade de nutrientes no solo; 2) A adição conjugada de resíduos orgânicos é mais eficiente no incremento de nutrientes no solo quando comparada à adição isolada; 3) A presença das leguminosas aumenta os teores de nutrientes no solo.

Diante do exposto, neste estudo o objetivo foi verificar o efeito combinado das estratégias de manejo agroflorestal e uso de resíduos orgânicos sobre os teores de nutrientes em um Argissolo cultivado em aleias no semiárido brasileiro.

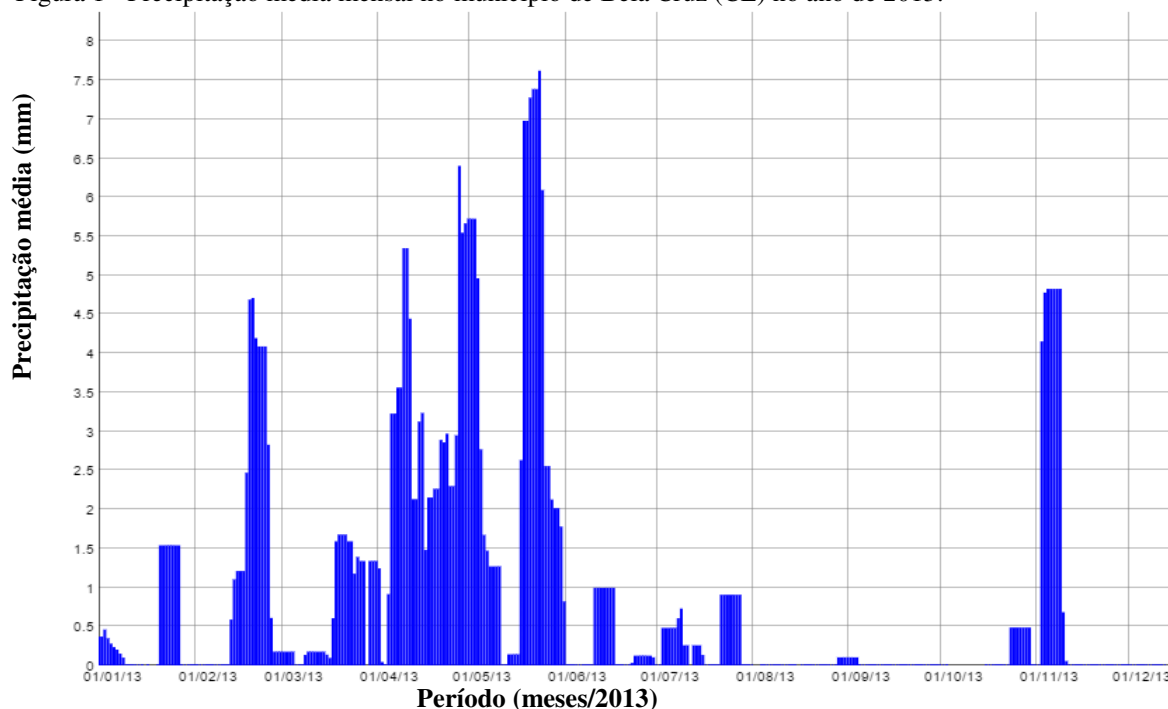
4.4 MATERIAL E MÉTODOS

4.4.1 Localização e caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado em Bela Cruz (CE), na localização geográfica de 3°00'39,29"S/40°13'30,38"W, em altitude de 50 m. A área experimental localiza-se em zona transicional com característica fitoecológica do Complexo Vegetacional da zona litorânea, ainda inserido no bioma Caatinga. Geologicamente, a região é denominada como Complexo

Nordestino (RADAM, 1980) e apresenta relevo suave ondulado e solos da classe Argissolo Vermelho Amarelo (horizonte B textural presente). O clima da região é caracterizado como tropical quente semiárido (BSw'h'), segundo Köppen (IPECE, 2007), com chuvas de fevereiro a maio, precipitação pluvial média anual de 1.096,9 mm e temperaturas médias variando entre 18° e 30° C. No período de realização do estudo, entre os meses de abril e junho, verificou-se médias térmicas de 31°C e taxas de precipitação em 4,0 mm/dia (Figura 1).

Figura 1 - Precipitação média mensal no município de Bela Cruz (CE) no ano de 2013.



Fonte: Agritempo, 2014.

4.4.2 Manejo da área experimental

O SAF foi estabelecido em 2007 e apresenta uma área de aproximadamente um hectare (110m x 90m). Após o corte seletivo da vegetação arbustivo-arbórea, com a preservação de duzentas árvores nativas por hectare, a área foi dividida em duas parcelas de 0,5 ha, uma das quais foi submetida à queima controlada e a outra teve seus garranchos amontoados em cordões de 0,5 m de largura, orientados no sentido perpendicular ao declive e distanciados de 3,0 m. O modelo de cultivo utilizado foi o de aleias, formadas por duas filas de gliricídia com o espaçamento de 0,5 m entre linhas e 0,5 m entre plantas. Foram estabelecidos o cajueiro (*Anacardium occidentale*), como cultura permanente, a leguminosa

gliricídia (*Gliricidia sepium*) para fornecimento de adubo verde, o milho (*Zea mays*) e o feijão de corda (*Vigna unguiculata*) como culturas de interesse alimentar.

Quanto ao manejo, duas práticas diferenciaram as parcelas: o uso do fogo e a adição de resíduos orgânicos (material da poda das leguminosas, biocomposto e bagana de carnaúba). A poda da gliricidia foi realizada duas vezes por ano, ao longo da estação das chuvas. A biomassa da parte aérea (folhas e galhos finos) foi cortada em pedaços com cerca de 10 a 20 cm de comprimento e distribuída sobre o solo das aleias. Quanto à utilização da bagana de carnaúba, aplicou-se o equivalente a 16 Mg ha⁻¹ por toda a área das parcelas em que esse resíduo foi avaliado. Já o biocomposto (folhas de caju, esterco caprino e bagana de carnaúba) foi aplicado na quantidade de 116 g cova⁻¹ na cultura do milho e do feijão, o que correspondeu a 2,3 Mg ha⁻¹.

4.4.3 Atributos químicos do solo e delineamento experimental

Para avaliar os atributos químicos do solo foram coletadas amostras em três profundidades (0-10, 10-20 e 20-40 cm) em cada uma das aleias que receberam os resíduos orgânicos e que foram preparadas com queima e sem queima (Tabela 1). Foram determinados os principais atributos químicos de qualidade do solo conforme metodologia recomendada por Claessen (2006).

O delineamento experimental foi realizado em parcelas subdividas, com quatro repetições. Nas parcelas principais foi estudado o fator fogo (com fogo e sem fogo) no preparo do solo e nas subparcelas foi estudada a adição de resíduos orgânicos (poda da leguminosa gliricidia; poda da leguminosa gliricidia e bagana de carnaúba; poda da leguminosa gliricidia e biocomposto; poda da leguminosa gliricidia, bagana de carnaúba e biocomposto) nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-40 cm.

Tabela 1. Aleias sob o manejo de resíduos orgânicos do semiárido brasileiro

Tratamentos	Preparo do solo	Resíduo orgânico manejado
AG		Gliricidia
AGBio	com fogo	gliricidia + biocomposto
AGBag		gliricidia + bagana de carnauba
AGBioBag		gliricidia+biocomposto+bagana
AG		Gliricidia
AGBio	sem fogo	gliricidia + biocomposto
AGBag		gliricidia + bagana de carnauba
AGBioBag		gliricidia+biocomposto+bagana

* A: aleia; Gli: Gliricidia solteira; Bio: Biocomposto; Bag: Bagana; Biocomposto: composto por folhas de caju, esterco caprino e bagana de carnaúba.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A utilização do fogo no preparo do solo promoveu efeitos significativos sobre os atributos químicos, mesmo seis anos após a queima (Tabela 2). Os valores de pH foram maiores na ausência do fogo, exceto na camada superficial (0-10 cm) na qual não houve diferença entre preparo do solo com fogo e sem fogo. Na camada superficial a ausência do fogo no preparo da área esteve associada à maior acidez trocável (Al^{3+}) e saturação por alumínio (m%), situação que se inverteu na camada de 10-20 cm para todos resíduos avaliados e na camada de 20-40 cm para os resíduos AG e AGBio. De modo geral, foram encontrados maiores valores de CTC mediante ausência do uso do fogo em todas profundidades avaliadas, com exceção para o resíduo AGBio que resultou em maior CTC com uso do fogo no preparo da área.

A perda do material orgânico pela queima compromete os atributos químicos do solo, como pH, CTC e os teores de Al, conforme o que se observa em estudo sobre o uso do fogo em áreas de cerrado verificado por Lima *et al.* (2010) aonde ocorreu a redução do pH e CTC, em detrimento aos teores de alumínio que apresentaram elevados valores.

Tabela 2. Valores de pH, acidez trocável (Al^{3+}), saturação por alumínio (m) e capacidade de troca catiônica (CTC) em Argissolo em sistema agroflorestal manejado com resíduos orgânicos no semiárido .

Tratamentos	pH (H ₂ O)		Al ³⁺ cmol _c dm ⁻³		m (%)	CTC cmol _c dm ⁻³		
	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo		Com fogo	Sem fogo	Sem fogo
0-10 cm								
AG	4,70bA	5,12aA	0,01bB	0,04cA	0,11cB	0,42cA	8,43cB	9,39cA
AGBio	4,88abA	4,98bA	0,02aB	0,06bA	0,16bB	1,12aA	12,47aA	5,33dB
AGBag	4,90abA	5,02bA	0,02aB	0,09aA	0,21aB	0,77bA	8,22cB	11,54abA
AGBioBag	4,91aA	5,11aA	0,01bB	0,04cA	0,11cB	0,26dA	9,76bB	14,85aA
10-20 cm								
AG	4,91bcB	5,12abA	0,09aA	0,05aB	1,56aA	0,99aB	5,75cAB	5,83dA
AGBio	4,99bAB	5,02bA	0,04bA	0,01bB	0,65bcA	0,17bB	6,13bcB	6,89cdA
AGBag	5,10abA	5,12abA	0,04bA	0,01bB	0,72bA	0,11cB	5,52cB	8,73aA
AGBioBag	5,20aAB	5,23aA	0,04bA	0,01bB	0,56dA	0,15bcB	7,09aB	8,01bA
20-40cm								
AG	5,14bcB	5,23cA	0,09aA	0,05cB	2,20aA	0,51cdB	3,93cB	9,62aA
AGBio	5,22bB	5,35bA	0,08bA	0,05cB	1,99bA	0,41dB	4,01bcB	7,18bcA
AGBag	5,40aAB	5,43bA	0,05cB	0,09aA	0,75cB	1,30aA	6,01aB	6,89cA
AGBioBag	5,41aB	5,56aA	0,03cB	0,07bA	0,47dB	0,96bA	6,67aB	7,23bA

Letras minúsculas comparam médias em resposta aos resíduos orgânicos dentro de cada profundidade. Letras maiúsculas comparam médias em resposta aos fatores de tratamento com fogo e sem fogo dentro de cada resíduo

orgânico. * A: aléia; Gli: Gliricidia solteira; Bio: Biocomposto; Bag: Bagana; Biocomposto: composto por folhas de caju, esterco caprino e bagana de carnaúba.

Houve resposta dos atributos químicos do solo à adição dos resíduos orgânicos avaliados (Tabela 2). O resíduo AGBioBag foi o que resultou em maiores valores de pH em todas camadas de solo avaliadas, tanto no sistema de preparo com fogo, quanto sem fogo. Menores valores de acidez trocável (Al^{3+}) e saturação por alumínio foram encontrados associados ao resíduo AGBioBag, com exceção da profundidade 20-40 sem uso do fogo em que os menores valores de Al^{3+} e saturação por alumínio ocorreram associados aos resíduos AG e AGBio. Na camada superficial os maiores valores de CTC ocorreram em resposta aos resíduos AGBio (com fogo) e AGBag e AGBioBag (com fogo). Na camada intermediária destaque é dado ao AGBioBag (com fogo) e AGBag (sem fogo). Na última camada avaliada a maior CTC é encontrada associada ao AGBioBag e AGBag (com fogo) e ao AG (sem fogo).

O uso de resíduos orgânicos promove melhorias nos atributos químicos do solo (ROSSET *et al.* 2014), visto que a adição desses, além de maior estabilização da MOS, eleva o pH pela complexação de H e Al, deixando livres Ca, Mg e K em maiores concentrações na solução do solo, o que leva ao aumento na saturação da CTC por esses cátions (SILVEIRA *et al.* 2010).

O resíduo orgânico de composição mais complexa (AGBioBag) levou aos menores valores de Al^{3+} e de valores de m%. Isso indica a eficiência que a matéria orgânica possui na complexação do alumínio, deixando-o menos disponível na solução do solo (PAVINATO, 2008).

O incremento de nutrientes ao solo e as demais funções químicas da MOS são potencializados pelo modelo agroflorestal em aleias. Esse modelo, por meio da variedade de espécies e sua disposição espacial, promove maior equilíbrio quanto à fonte e ao dreno de nutrientes do solo, importante principalmente para a região semiárida, cujo favorecimento das perdas é superior ao ganho e manutenção, a considerar as elevadas médias térmicas da região (MIELNICZUK *et al.*, 2003). Bertalot *et al.* (2014), estudando o efeito de leguminosas cultivadas em aleias, observaram que essas plantas promovem melhoria na conservação do agrossistema, principalmente pelo incremento de nutrientes no solo aliado ao aumento da produtividade vegetal, sobrepondo-se ao efeito dos fertilizantes minerais.

Os teores de bases trocáveis do solo variaram em resposta ao uso do fogo no preparo das áreas (Tabela 3). Na camada superficial teores de Ca foram maiores sem uso do fogo, exceto para o resíduo AGBio. Na camada intermediária os teores de Ca foram maiores

sem uso do fogo somente para os resíduos AGBag e AGBioBag. Na camada mais profunda (20-40 cm) somente o tratamento AGBioBag não apresentou maiores teores de Ca quando não foi usado fogo no preparo da área. Para o Mg, na camada 0-10 cm maiores teores do elemento no solo sem uso do fogo só foram encontrados associados ao tratamento AGBio. Na camada 10-20 cm a essa constatação foi adicionado o resíduo AGBag. Já na camada mais profunda (20-40 cm) o único resíduo em que não houve diferença para teores de Mg mediante preparo com e sem fogo foi o AGBag.

No caso do K, é interessante observar que os maiores valores do nutriente foram encontrados em solo submetido ao fogo, principalmente nos primeiros 20 cm de profundidade. Isso pode estar relacionada ao incremento dado pelo fogo durante o preparo vinculado à liberação de óxidos nas cinzas (COUTINHO, 2003) e uma conservação destes, dada pelo favorecimento climático (precipitações limitadas) e baixo revolvimento no manejo agroflorestal (IWATA et al., 2012). O sódio já parece não ter sido tão afetada pelo uso do fogo.

As bases trocáveis no solo variaram em resposta aos resíduos orgânicos avaliados (Tabela 3). Na camada superficial os resíduos AGBio e AGBioBag resultaram em maior teor de Ca nos tratamentos associados ao uso do fogo, enquanto que AGBag resultou em maior teor de Ca no tratamento sem uso do fogo. Na camada mais profunda (20-40 cm), AGBioBag resultou em maior teor de Ca mediante uso do fogo e AG sem uso do fogo.

Para os teores de Mg os resíduos AGBag e AGBioBag resultaram em maior teor nas três profundidades de solo estudadas e com uso do fogo. Sem o fogo três resíduos foram mais efetivos para aumentar teores de Mg no solo (AGBio, AGBag e AGBioBag) na camadas de 0-10 e 10-20cm. Já na última camada estudada o maior teor de Mg foi encontrado associado ao tratamento AGBag. Observa-se que o manejo sem fogo potencializa o incremento do Mg pelo uso da combinação dos três resíduos ao solo, além disso, observou-se na decomposição estudada no capítulo I, que sob o uso do fogo há uma redução mais acentuada dos nutrientes ao longo da decomposição.

A presença de material proveniente da poda da gliricidia nos resíduos orgânicos avaliados neste estudo pode explicar boa parte da contribuição de bases trocáveis ao solo. Barretos e Fernandes (2001), testando o cultivo de gliricidia e leucena em alamedas de tabuleiros costeiros, perceberam elevação no pH e nos teores de Ca + Mg. Esses aumentos podem estar relacionados com a maior capacidade de absorção de nutrientes por essas

leguminosas que são, posteriormente, depositadas como adubos verdes (MENEZES *et al.*, 2002; TIESSEN *et al.*, 2003).

Os resíduos AGBag e AGBioBag levaram ao maior teor de K no solo com uso do fogo e sem fogo. Os resíduos AG e AGBag resultaram em maior valor de Na no solo. O incremento de nutrientes ao solo.

Tabela 3. Macronutrientes em Argissolo em sistema agroflorestal manejado com resíduos orgânicos no semiárido.

Aléias	Ca		Mg		K		Na	
	cmol _c dm ⁻³							
0-10 cm								
	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo
AG	5,11 bB	6,20bA	2,30bA	2,20bA	1,01bcA	0,95cAB	0,04aA	0,03bA
AGBio	9,55 aA	1,70cB	1,90cB	2,80abA	1,00bcA	0,77cB	0,03bA	0,03bA
AGBag	2,01dB	6,60bA	3,80aA	3,60abAB	2,39aA	1,25bB	0,04aB	0,09aA
AGBioBag	3,42cB	9,50aA	3,90aA	3,90abA	2,43aA	1,41aB	0,02cA	0,01cA
10-20 cm								
	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo
AG	2,70abA	2,00cB	2,00bA	2,10bA	0,96bA	0,87bB	0,05aA	0,03bAB
AGBio	2,81aA	2,00cB	2,20bB	2,80aA	1,08bA	0,88bB	0,03bA	0,02cA
AGBag	1,01cB	5,30aA	2,35abB	2,50aA	2,12aA	0,92abB	0,03bA	0,01dB
AGBioBag	2,20bB	2,80bA	2,60abA	2,70abA	2,25aA	1,01aB	0,03bB	0,04aAB
20-40 cm								
	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo
AG	1,32bB	5,70aA	1,60bB	3,00aA	0,93cAB	0,87cB	0,04aA	0,02cAB
AGBio	1,10cB	4,00bA	1,90bB	2,20bA	0,93cA	0,95cA	0,03bA	0,03bA
AGBag	1,52bB	3,10cA	2,60aA	2,70bA	2,46aA	1,00bB	0,03bB	0,09aA
AGBioBag	2,00aA	1,30dB	2,70aB	3,10aA	1,64bB	2,76aA	0,03bA	0,03bA

Letras minúsculas comparam médias em resposta aos resíduos orgânicos dentro de cada profundidade. Letras maiúsculas comparam médias em resposta aos fatores de tratamento com fogo e sem fogo dentro de cada resíduo orgânico. * A: aléia; Gli: Gliricidia solteira; Bio: Biocomposto; Bag: Bagana; Biocomposto: composto por folhas de caju, esterco caprino e bagana de carnaúba.

Em relação ao K, os maiores teores associados aos tratamentos AGBag, AGBioBag manejadas com fogo e AGBioBag sem fogo, deve estar associado às propriedades estruturais da leguminosa. Primo *et al.* (2012), estudando o efeito da adubação orgânica sobre a produtividade de milho no semiárido paraibano, verificaram que os teores do potássio foram significativos nos resíduos da gliricidia.

Nascimento *et al.* (2003), ao avaliarem o efeito de doze espécies de leguminosas, dentre elas a gliricidia, na composição química de um solo degradado, verificaram elevação dos teores de nutrientes no solo, principalmente K e Mg na profundidade de 0-10 cm. A adubação verde com gliricidia como cerca-viva em sistemas agroflorestais fornece 5,5 t ha⁻¹

ano⁻¹ de matéria seca, aportando nutrientes, principalmente N, P, K e Mg (QUEIROZ *et al.*, 2007). Altos teores de nutrientes (as bases trocáveis Ca, Mg e K) verificados nos solos das aleias (Tabela 3) podem também estar associados à alta atividade de decomposição realizada pela biota do solo que esse manejo proporciona (LIMA, 2008)., conforme observou-se durante o teste de decomposição no capítulo I, no qual a glirícidia apresentou maior velocidade de decomposição.

Teores dos micronutrientes no solo diferiram em resposta ao manejo com fogo e aos resíduos avaliados (Tabela 4). Para o Cu os resíduos que resultaram em maiores teores foram AGBio e AG manejadas com fogo na camada de 0-10 cm, já na camada de 10-20 cm os maiores teores ocorreram em AGBag, enquanto que na camada mais profunda (20-40cm) os maiores teores de Cu foram observados em AG sob queima. Quanto aos teores de Mn e Zn ocorreram semelhanças quanto aos tratamentos que apresentaram maiores teores desses micronutrientes. Na camada superficial (0-10 cm) os maiores teores foram em AGBioBag e AGBag com e sem o uso do fogo, na camada intermediária (10-20 cm) foi constatada resposta diferenciada, visto que o Mn foi superior sob o manejo sem fogo em AGBio e o Zn superior no manejo sob AG e AGBioBag com ou sem fogo.

Tabela 4. Micronutrientes em Argissolo em sistema agroflorestal manejado com resíduos orgânicos no semiárido.

Aléias	Cu		Zn		Mn		Fe	
	mgdm ⁻³							
0-10 cm								
	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo
AG	8,46abA	6,04 bB	10,83abB	16,02abA	57,76aA	18,29 cB	31,18aA	5,49cB
AGBio	12,25 aA	7,26abB	14,59abB	13,86abA	54,58aA	25,43 cB	25,25bB	30,44aA
AGBag	9,07abA	8,47abB	21,24 aA	7,20 bB	41,69bB	49,49 bA	20,96bA	16,98bcB
AGBioBag	10,12abA	5,63 bB	16,64abB	21,45 aA	45,27bB	64,34 aA	29,17aA	22,22bB
10-20 cm								
	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo
AG	17,18aA	8,48bB	16,83 aA	15,10 abA	13,16bcA	10,42 cB	35,53aA	6,75cB
AGBio	8,92bA	8,33bB	11,18 bA	7,76 bB	10,47cB	26,58 aA	39,64aA	27,07abB
AGBag	12,53abA	9,07aB	19,70 aA	8,16 bB	24,91aA	21,73 abB	36,84aA	24,06bB
AGBioBag	8,76bA	7,88cB	17,13 aA	17,63 aA	12,25bcB	20,58 bA	29,87bA	29,41aA
20-40 cm								
	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo
AG	14,60 aA	10,52abB	16,07 aA	14,29bB	32,47aA	16,67bB	31,55aA	12,54bcB
AGBio	7,86 abB	9,08abA	16,31 aA	10,98bcB	26,36bA	4,04 cB	38,57aA	7,80cB
AGBag	10,91abA	9,04abB	15,22 aA	7,73 cB	9,01cB	20,41bA	30,71aA	25,85bB
AGBioBag	8,34abA	7,37bB	15,80 aB	17,31aA	6,89 cB	25,11abA	19,27bB	29,84abA

Letras minúsculas comparam médias em resposta aos resíduos orgânicos dentro de cada profundidade. Letras maiúsculas comparam médias em resposta aos fatores de tratamento com fogo e sem fogo dentro de cada resíduo

orgânico. * A: aléia; Gli: Gliricidia solteira; Bio: Biocomposto; Bag: Bagana; Biocomposto: composto por folhas de caju, esterco caprino e bagana de carnaúba.

Em relação ao ferro, também ocorreram diferenças em relação aos tratamentos (Tabela 4). Nas três profundidades estudadas foram encontrados maiores teores de Fe no manejo com queima. No manejo com queima o resíduo AG apresentou maiores teores nas três profundidades, e no manejo sem uso do fogo predominaram os maiores teores AGBio na primeira camada e nas mais profundas AGBioBag. Um dos responsáveis pelo incremento de nutrientes pode ser o esterco caprino presente no biocomposto. Esse resíduo exerce papel de fornecedor de macro e micronutrientes para o ambiente devido à sua constituição com elevadas concentrações de compostos orgânicos e materiais ricos em nutrientes. Além disso, o esterco caprino apresenta um dos mais rápidos processos de fermentação, facilitando a biodisponibilidade dos nutrientes, conforme visto no capítulo I, que o esterco na presença do biocomposto foi um dos principais responsáveis pela aceleração do processo de decomposição, apesar de que o esterco caprino possui estrutura (cíbala) que oferece determinada resistência a esse resíduo.

Ao estudar a disponibilidade de nutrientes no solo mediante fontes de matéria orgânica, Silva *et al.* (2007) observaram que o esterco caprino promoveu maiores aumentos em N total, P total e P e K extraíveis (Mehlich¹) do solo. Yamada e Kamata (1989) destacam ainda que o efeito dos estercos não se deve apenas ao suprimento de nutrientes, mas também à melhoria de outros constituintes do solo, no fornecimento de água, no arranjo de sua estrutura por meio de formação de complexos húmus-argilosos e consequente aumento na CTC.

Similar ao que foi mencionado para as bases trocáveis, A disponibilidade de micronutrientes por todo o perfil do solo pode ter relação direta com a participação do conteúdo da leguminosa gliricidia. Ilangamudali *et al.* (2014), estudando o efeito dessa leguminosa em um SAF cultivado com coco, verificaram que esta contribuiu significativamente para incrementar os teores de macro e micronutrientes até mesmo nas camadas mais profundas do solo. Vale ressaltar que o manejo orgânico desses resíduos elevou os teores dos micronutrientes do solo nas três profundidades estudadas (Tabela 6). Além disso, as espécies arbóreas com enraizamento mais profundo presentes no manejo agroflorestal também auxiliam na distribuição dos nutrientes na subsuperfície.

Para os teores de COT, exceto na camada 20-40cm, os valores foram superiores nas aleias manejadas sem fogo (Tabela 5). Quanto aos resíduos observou-se que os maiores valores de COT foram encontrados associados aos resíduos AG e AGBio tanto sob o uso do fogo, quanto no manejo sem fogo. A biodiversidade presente no SAF, em associação com o

potencial nutricional de cada resíduo, promove dinâmica no solo com maior potencial de *input* de carbono, até mesmo em subsuperfície. Muitos autores preferem associar esse incremento de COT e MOS ao efeito do material disposto na decomposição da leguminosa que apresenta elevada biomassa vegetal e o papel que a mesma propicia para o sistema pela conservação da matéria orgânica do solo (HAKALA; JAUHAINEN, 2007; RODRIGUES *et al.*, 2008; RIBEIRO *et al.*, 2011).

Tabela 5. Carbono, nitrogênio, fósforo e matéria orgânica em Argissolo em sistema agroflorestal manejado com resíduos orgânicos no semiárido.

Aléias	COT g kg ⁻¹		P mg kg ⁻¹		N g kg ⁻¹		MOS g kg ⁻¹	
	0-10 cm							
	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo
AG	32,96aB	34,00aA	31,88aB	34,29aA	0,75bA	0,78aA	56,82aB	58,62aA
AGBio	32,85aB	32,24aA	21,32bA	11,48cB	0,60cA	0,58cA	56,63aA	55,59bA
AGBag	30,08bB	31,89bA	9,85cB	25,87bA	0,71bcA	0,69bcA	51,87bB	54,98cA
AGBioBag	29,69bB	32,05aA	18,44cB	22,39bA	0,80aA	0,78aA	51,20bB	55,26bA
	10-20 cm							
	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo
AG	33,40aA	34,18aA	27,78aB	29,88aA	0,42cB	0,70bA	57,58aA	58,93aA
AGBio	33,60aA	33,53aA	18,83bA	12,17bB	0,71bB	0,83abA	57,93aA	57,81aA
AGBag	30,59bB	33,48aA	9,97cB	14,40bA	0,82aB	0,92bA	52,74bB	57,72aA
AGBioBag	32,22aA	32,52bA	21,91aA	15,69bB	0,77abB	1,00aA	55,55aA	56,06bA
	20-40 cm							
	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo
AG	34,11aA	32,61aB	17,58bB	38,84aA	0,93cA	0,87cB	58,81aA	56,23bB
AGBio	34,11aA	33,77aB	17,20bB	17,58bA	0,93cA	0,95cA	58,80aA	58,22aA
AGBag	32,69bA	34,47aA	15,45cB	17,70bA	2,46aA	1,05bcB	56,36bB	59,42aA
AGBioBag	33,09aA	30,82bB	20,56aA	14,40cB	1,64bB	2,76aA	57,05aA	53,14cB

Letras minúsculas comparam médias em resposta aos resíduos orgânicos dentro de cada profundidade. Letras maiúsculas comparam médias em resposta aos fatores de tratamento com fogo e sem fogo dentro de cada resíduo orgânico. * A: aléia; Gli: Gliricidia solteira; Bio: Biocomposto; Bag: Bagana; Biocomposto: composto por folhas de caju, esterco caprino e bagana de carnaúba.

Apesar de muitos autores terem demonstrado que as mudanças quantitativas nos teores de COT em SAFs não ocorrem em um prazo inferior a 10 anos (BARRETO; FERNANDES, 2001; MENDONÇA *et al.*, 2001), verificou-se que o SAF do presente estudo tem contribuído significativamente com os teores de COT, o que pode decorrer da qualidade e diversidade dos resíduos orgânicos manejados nas suas aleias. Iwata *et al.* (2012), estudando o efeito de SAFs em Argissolo Vermelho Amarelo, também verificaram o aporte de COT em SAFs com 6 e 9 anos de adoção em áreas de Cerrado, superando os teores verificados em área de mata nativa.

Independente do uso do fogo, os teores de P mediante o resíduo AG foram superiores, exceto na camada 20-40 cm na qual a combinação dos três resíduos levou aos maiores teores (Tabela 7). Marin *et al.* (2006), ao estudarem os efeitos da leguminosa sobre os nutrientes do solo de um SAF no semiárido paraibano, verificaram que a gliricidia promoveu aumento significativo dos teores de P disponível do solo. Beedy *et al.* (2010) também reportaram efeito positivo no incremento de fósforo disponível. Logo, a maior disponibilidade de P no solo devido à incorporação de materiais vegetais tem sido atribuída pela liberação desse diretamente a partir dos materiais em decomposição (PALMA, 1995).

Os teores de N diferiram significativamente em relação ao uso do fogo somente nas camadas mais profundas. Quanto aos resíduos, apesar do reconhecido papel das leguminosas de aportar teores de N ao solo, no SAF deste estudo, mais especificamente nas parcelas cujo manejo de resíduos orgânicos apresentou combinação entre gliricidia, bagana e biocomposto, houve maior eficiência em relação ao uso da leguminosa isolada no incremento dos teores de N do solo (AGBioBag com e sem manejo do fogo). A combinação entre resíduo da leguminosa, bagana e esterco potencializa a disponibilidade de N do solo em razão da labilidade da leguminosa e da presença de outros nutrientes contidos no esterco (SILVA *et al.*, 2007) e na bagana de carnaúba.

A combinação dos resíduos é considerada a responsável pela melhor sincronização entre disponibilidade de nutrientes do solo e a demanda por estes no sistema. Com isso, ocorre minimização do mecanismo de imobilização do N ou lixiviação. Além disso, a combinação de esterco incorporado e gliricidia aplicada em superfície pode, também, retardar a liberação de N e, conseqüentemente, fornecer esse nutriente de forma mais sincronizada.

Em função da sua composição química, o esterco caprino é uma das fontes de matéria orgânica que mais disponibilizam nutrientes de forma gradual para as culturas e constitui fonte estratégica de N e P aos solos (ALVES e PINHEIRO, 2012). Embora diversos autores tenham observado que a decomposição de esterços *in natura* promova a imobilização de N, logo após a imobilização ocorre a liberação de forma rápida dos nutrientes para o solo (MORVAM *et al.*, 1997; OLESEN *et al.*, 1997).

Diante da liberação de nutrientes no solo, verifica-se que o efeito exercido pela consorciação de resíduos orgânicos favorece o equilíbrio dinâmico dos teores de nutrientes em área com baixas taxas de precipitação e limitado acesso à água. Portanto, a combinação do uso de adubos com diferente constituição químico-estrutural, como o esterco, a bagana de

carnaúba e a gliricidia, é um fator importante para os sistemas de produção em áreas de semiárido, pois a disponibilidade destes adubos nas áreas de cultivos pode ocorrer em épocas diferentes, relevante principalmente durante os períodos de menor oferta de água.

4.6 CONCLUSÕES

1. O manejo com queima promove a redução dos nutrientes do solo, principalmente em camadas mais superficiais;
2. A leguminosa gliricidia é eficiente no aporte dos nutrientes ao solo, considerando principalmente sua composição química;
3. Há eficácia no uso consorciado dos resíduos orgânicos quanto ao incremento dos nutrientes ao solo, decorrendo da sincronização entre disponibilidade de nutrientes e demanda destes pelo sistema, logo é uma alternativa de manejo eficaz no incremento nutrientes dos solos da região semiárida.

4.7 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALVES, F. F.; PINHEIRO, R. **Esterco caprino recupera e ativa solo.**<<http://www.esteditora.com.br/correio/4819/4819.htm>> 10 Fev. 2012.
- BARRETO, A. C; FERNANDES, M. F. **Cultivo de Gliricidia sepium e Leucena leucocephala em alamedas visando a melhoria dos solos dos tabuleiros costeiros.** Pesq.agropec. bras., v.36, p 1287-1293, 2001.
- BERTALOT, M. , GUERRINI, I. , MENDOZA, E.; PINTO, M. **Productivity, Leaf Nutrient Content and Soil Carbon Stocked in Agroforestry and Traditional Management of Maize (*Zea mays L.*).** American Journal of Plant Sciences, v.5, p 884-898, 2014.
- BOLEY, J. D.; DREW, A. P.; ANDRUS, R. **Effects of active pasture, teak (*Tectona grandis*) and mixed native plantations on soils chemistry in Costa Rica.** Forest Ecology and Management, Amsterdam, v. 257, p. 2254 – 2261, 2009.
- COUTINHO, L.M. **O cerrado e a ecologia do fogo.** Ciência Hoje, Brasília, v.12, n.68, p.22-30, 1990.
- DELABIE, J. H. C.; JAHYNY, B.; NASCIMENTO, I. C.; MARIANO, S. F.; LACAU, S.; CAMPIOLO, S. **Contribution of cocoa plantations to the conservation of native ants**

(Insecta: Hymenoptera: Formicidae) with a special emphasis on the Atlantic forest fauna of southern Bahia, Brazil. Biodiversity Conservation, v.16, p.2359-2384, 2007

HAKALA, K.; JAUHAINEN, L. **Yield and nitrogen concentration of above- and below-ground biomasses of red clover cultivars in pure stands and in mixtures with three grass species in northern Europe.** Grass Forage Sci., v. 62, p 312-321, 2007.

HUERTA, E.; RODRIGUEZ-OLAN, J.; EVIA-CASTILLO, I.; MONTEJO MENESES, E.; CRUZ- MONDRAGON, M.; GARCIA-HERNANDEZ, R.; URIBE, S. **Earthworms and soil properties in Tabasco Mexico.** European Journal Soil Biology, v.43, p.190-195, 2007

ILANGAMUDALI, I.M.P.S.; SENARATHNE, S.H.S.; EGODAWATTA, W.C.P.. **Evaluation of Coconut Based Gliricidia sepium Agroforestry Systems to Improve the Soil Properties of Intermediate and Dry Zone Coconut Growing Areas.** Global Advanced Research Journal of Agricultural Science, v. 3,p 067-076, 2014.

IWATA, B. F. et al . **Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense.** Rev. bras. eng. agríc. ambient., Campina Grande , v. 16, p 730-738, 2012 .

LIMA, S. S. **Impacto do manejo agroflorestal sobre a dinâmica de nutrientes e a macrofauna invertebrada nos compartimentos serapilheira-solo em área de transição no norte do Piauí/** Sandra Santana de Lima. Teresina: UFPI, 2008. Dissertação Mestrado.

LIMA, S. S.; LEITE, L. F. C.; AQUINO, A. M.; OLIVEIRA, FRANCISCO DAS CHAGAS ; CASTRO, A. A. J. F. **Estoques da serrapilheira acumulada e teores de nutrientes em Argissolo sob manejo agroflorestal no norte do Piauí.** Revista Árvore, v.34, p.75-84, 2010.

MENDOZA, H. N. S.; LIMA, E.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, L. A.; CEDDIA, M. B.; ANTUNES, M. V. M. **Propriedades químicas e biológicas de solo de tabuleiro cultivado com cana-de-açúcar com e sem queima da palhada.** Revista Brasileira Ciência do Solo, v.24, p.201-207, 2000.

MENEZES, R.S.C.; SALCEDO, I.H.; ELLIOTT, E.T. **Microclimate and nutrient dynamics in a silvopastoral system of semiarid northeastern Brazil.** Agrofor. Syst., 56:27-38, 2002.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F.; DEBARBA, L. **Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo.** In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S. & ALVAREZ V., V.H. Tópicos em ciência do solo., eds. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3. p.209-248.

NASCIMENTO, J.T.; SILVA, I.F.; SANTIAGO, R.D. & SILVA NETO, L.F. **Efeito de leguminosas nas características químicas e matéria orgânica de um solo degradado.** R. Bras. Eng. Agríc. Amb., v.7, p 457-462, 2003.

NORGROVE, L.; CSUZDI, C.; FORZI, F.; CANET, M.; GOUNES, J. **Shifts in soil faunal community structure in shaded cacao agroforests and consequences for ecosystem function in Central Africa.** Tropical Ecology, v.50, p.71-78, 2009.

OELBERMANN, M.; VORONEY, R. P.; THEVATHASAN, N. V.; GORDON, A. M.; KASS, D. C. L.; SCHLONVOIGT, A. M. **Soil carbon dynamics and residue stabilization in a Costa Rican and southern Canadian alley cropping system.** Agroforestry System, v.68, p.27-36, 2006.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. **Disponibilidade de nutrientes no solo – decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 32, p. 911-920, 2008.

PRIMO, D. C.; MENESES, R. S. C.; SILVA, T. O.; GARRIDO, M. S. & CABRAL, P. K. T. **Contribuição da adubação orgânica na absorção de nutrientes e na produtividade de milho no semiárido paraibano.** Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.7, p 81-88, 2012.

QUEIROZ, L. R. et al. **Avaliação da produtividade de fitomassa e acúmulo de N,P,K em leguminosas arbóreas no sistema de aléias, em Campos dos Goytacazes-RJ.** Revista Árvore, v.31, p.38-390, 2007.

RIBEIRO, P. H. et al. **Adubação verde, os estoques de carbono e nitrogênio e a qualidade da matéria orgânica do solo.** Revista Verde, v.6, p. 43 – 50, 2011.

RODRIGUES, A.M.; CECATO, U.; FUKUMOTO, N.M.; GALBEIRO, S.; SANTOS, G.T.; BARBERO, L.M. **Concentrações e quantidades de macronutrientes na excreção de animais em pastagem de capim-mombaça fertilizada com fontes de fósforo.** R. Bras. Zootec., v. 37, p 990-997, 2008.

ROSSET.J.R.; SCHIAVO, J.R.;ATANAZIO, RAR. **Atributos químicos, estoque de carbono orgânico total e das frações humificadas da matéria orgânica do solo em diferentes sistemas de manejo de cana-de-açúcar.** Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 35, p. 2351-2366, 2014.

SAHA, J. K.; SINGH, A.B.; GANHESHAMURTY, A. N.; KUNDU, S.; BISWAS, A. K. **Sulfur accumulation in vertsoil due to continuous gypsum application for six years and its effect on yield and biochemical constituents of soybean (Glycine max L. Merrill).** Journal of Plant Nutrition and Soil Science, v 164, p.317-320, 2001.

SILVA, T. O.; MENEZES, R. S. C.; TIESSEN, H.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H.; SILVEIRA, L. M. **Adubação orgânica da batata com esterco e, ou *Crotalaria juncea*. I – Produtividade vegetal e estoque de nutrientes no solo em longo prazo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, v. 31, p. 39-49, 2007.

SILVEIRA, P. M.; CUNHA, P. C. R.; STONE, L. F.; SANTOS, G. G. **Atributos químicos de solo cultivado com diferentes culturas de cobertura.** Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v. 40, p. 283-290, 2010.

SMILEY, G. L.; KROSCHEL, J. **Temporal change in carbon stocks of cocoa-gliceridia agroforests in Central Sulawesi, Indonesia.** Agroforestry System, v.73, p.219-231, 2008.

TIESSEN, H.; MENEZES, R.S.C.; SALCEDO, I.H.; WICK, B. **Organic matter transformations and soil fertility in a treed pasture in semiarid NE Brazil.** Plant Soil, v. 252, p 195-205, 2003.

YAMADA, H.; KAMATA, H. **Agricultural technological evaluation of organic farming and gardening I. Effects of organic farming on yields of vegetables and soil physical and chemical properties.** Bulletin of the Agricultural Research Institute of Kanagawa Prefecture. v.130, p.1-13, 1989.

5. CAPÍTULO III. FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA E SENSIBILIDADE DO CARBONO EM ARGISSOLO MANEJADO COM RESÍDUOS ORGÂNICOS EM SISTEMA AGROFLORESTAL

5.1 RESUMO

Determinados compartimentos da matéria orgânica do solo (MOS) são mais eficientes na detecção de mudanças no conteúdo de carbono (C) associadas ao manejo. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar efeito de resíduos orgânicos em aleias em um sistema agroflorestal manejado com e sem fogo sobre a variação dos estoques de carbono e de suas frações físicas, a relação de estratificação (RE) do carbono e o índice de sensibilidade dessas frações da MOS em relação ao manejo. O estudo foi realizado em Bela Cruz, Ceará, por meio de experimento no qual foi adotado delineamento em parcelas subdivididas com quatro repetições. Nas parcelas foi avaliado o fator “fogo” (com fogo e sem fogo), enquanto que nas subparcelas foi avaliado o fator “resíduos orgânicos” nas aleias: glirícidia isolada - AG, glirícidia com bagana de carnaúba – AGbag, glirícidia com biocomposto e Glirícidia, bagana de carnaúba e biocomposto – AGBioBag; nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-40cm. Por meio do estudo foi constatado que houve efeito dos resíduos orgânicos utilizados nas aleias. Nas aleias com uso combinado dos resíduos da bagana de carnaúba, glirícidia e biocomposto houve maior conservação tanto do conteúdo de carbono orgânico particulado quanto do carbono associado aos minerais. Logo, o manejo agroflorestal em aleias utilizando a combinação dos três resíduos foi eficiente na conservação de uma matéria orgânica lábil e na estabilização do carbono. Foi constatado também que o carbono orgânico particulado em todas as aleias foi mais sensível às modificações realizadas no manejo do solo em relação ao conteúdo total da MOS, no qual observou-se maiores índices de sensibilidade dessa fração.

PALAVRAS-CHAVE: adubação orgânica, frações físicas do carbono, qualidade do solo.

CHAPTER III. ORGANIC MATTER FRACTIONS AND CARBON SENSITIVITY IN ULTISOL MANAGED WITH ORGANIC WASTE IN AGROFORESTRY SYSTEM

5.2 ABSTRACT

Certain compartments of soil organic matter (SOM) are more efficient in detecting changes in carbon content (C) associated with the management. Thus, the objective of this study was to evaluate the effect of organic waste in alleys in agroforestry system managed with and without fire on the change in carbon stocks and their physical fractions, carbon stratification ratio (SR) and the index of sensitivity of these fractions of SOM related to management. The

study was conducted in Bela Cruz, Ceará, through experiment in which was adopted in a split plot design with four replications. In the plots we evaluated the "fire" factor (with fire and without fire), while the subplots evaluated the "organic waste" factor in the alleys: isolated gliricidia - AG, gliricidia with carnauba straw - AGbag, gliricidia with biocompound and Gliricidia, carnauba straw and biocompound - AGBioBag at 0-10, 10-20 and 20-40 cm depth. The study found a significant effect of organic waste used in alleys. In the alleys with combined use of waste from carnauba straw, gliricidia and biocompound, there was greater conservation of both particulate organic carbon contents as carbon associated to minerals. Therefore, the agroforestry management in alleys using the combination of the three residues was efficient in maintaining a labile organic matter and carbon stabilization. It was also found that the particulate organic carbon in all the alleys was more sensitive to changes made in the soil management regarding the total content of SOM in which there was greater sensitivity indices of this fraction.

KEYWORDS: organic fertilization, physical fractions of carbon, soil quality.

5.3 INTRODUÇÃO

O manejo do solo que visa à manutenção ou recuperação dos estoques de carbono é fundamental para a sustentabilidade da produção agrícola e mitigação de problemas ambientais (CARMO *et al.*, 2012; OELBERMAN, 2014; PORTUGAL *et al.*, 2008). Na avaliação da eficiência das estratégias de manejo, a matéria orgânica do solo (MOS) tem se destacado como indicador de qualidade solo de excelência, pela sua elevada sensibilidade e, principalmente, por sua estreita relação com os atributos físicos, químicos e biológicos do solo.

No entanto, o conteúdo total da MOS pode ser um indicador não suficientemente sensível para a avaliação qualitativa de sistemas de manejo. Estudos têm demonstrado que determinados compartimentos da MOS, quando comparados ao conteúdo total, são capazes de detectar mais rapidamente as mudanças nos conteúdos de carbono (C) no solo associadas ao manejo. A alteração nesses compartimentos é, de modo geral, maior do que quando se considera apenas o conteúdo total de C do solo (XAVIER *et al.*, 2006). Logo, tão importante quanto o estudo da capacidade de estoque do carbono total é a verificação das frações da MOS na avaliação dos níveis de eficiência do manejo de um ambiente.

Nesse sentido, além do carbono orgânico total (COT) tem sido apontada como fração de alta sensibilidade às alterações do meio a fração particulada da matéria orgânica (MOP). Basicamente composta por resíduos vegetais em estágios iniciais de decomposição, raízes e hifas de fungos que ainda apresentam estruturas celulares reconhecíveis (CAMBARDELLA; ELLIOT, 1992; CONCEIÇÃO *et al.*, 2007), a fração particulada é a parte mais lábil da MOS, que responde prontamente aos sistemas de manejo e atua como principal agente cimentante da matéria orgânica na agregação do solo, principalmente nos macroagregados.

Outra alternativa eficiente e prática para avaliação da conservação do solo é a taxa ou relação de estratificação do carbono orgânico (RE). Essa taxa compara o conteúdo de carbono orgânico da camada superficial com o das camadas inferiores (FIDALSKI *et al.*, 2007; FRANZLUEBBERS, 2002). Segundo os estudos de Franzluebbbers (2002) a taxa de estratificação indica a qualidade do solo, pois a matéria orgânica superficial é essencial no controle da erosão, na infiltração de água e na conservação de nutrientes, sendo também importante quanto à sua resposta ao manejo executado.

A relação estratificação é uma importante referência no controle de qualidade do solo (MATIAS *et al.*, 2014). Essa relação deve ser investigada nas condições de clima tropical e subtropical, especialmente quanto ao tipo de solo, à espessura das camadas, ao valor crítico e sua relação com o tempo de utilização de sistemas de manejo do solo. Segundo Ferreira *et al.* (2012), no Brasil ainda são escassos os trabalhos investigando a RE, principalmente no manejo empregado na região semiárida.

O estudo das alterações no aporte da MOS e das suas frações, induzidas pelo uso do solo, assume relevante importância no subsídio da adoção de um sistema de manejo que vise a manutenção ou recuperação do potencial agrícola. Considerando que a região semiárida brasileira ainda tem em sua magnitude uma agricultura convencional com intensivo uso do fogo no preparo do solo e uma emergente busca por sistemas de caráter conservacionista, tais como os Sistemas Agroflorestais, identificar eficientes indicadores de qualidade dessas estratégias fundamentará a tomada de decisões para melhoria dos agroecossistemas.

Neste sentido, testou-se as hipóteses: 1) Os efeitos do fogo podem ser constatados no conteúdo das frações de carbono mesmo após 6 (anos) do preparo da área; 2) A adição conjugada dos resíduos da poda da gliricídia, da bagana da carnaúba e do biocomposto promove maior equilíbrio entre as frações físicas do carbono e maior estratificação desse elemento no perfil; 3) A fração particulada da MOS é mais sensível às alterações de manejo

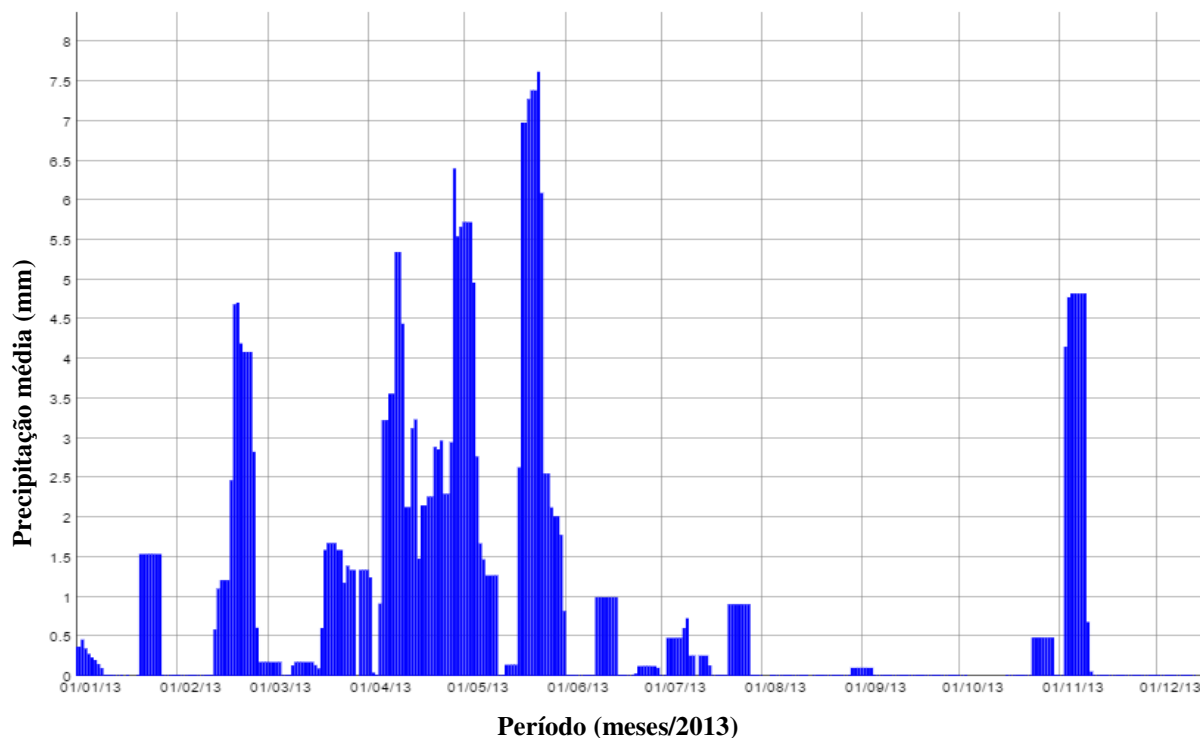
em relação ao conteúdo total de carbono. Diante disso, este trabalho teve como objetivos avaliar a variação dos estoques de C, do conteúdo de MOP, a relação de estratificação de C e o índice de sensibilidade dessas frações da MOS em relação ao manejo com resíduos orgânicos em aleias em um sistema agroflorestal manejado com ou sem fogo.

5.4 MATERIAL E MÉTODOS

5.4.1 Localização e caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado em Bela Cruz (CE), na localização geográfica de 3°00'39,29"S/40°13'30,38"W, altitude de 50 m. A área experimental localiza-se em zona transicional com característica fitoecológica do Complexo Vegetacional da zona litorânea, ainda inserido no bioma Caatinga. Geologicamente, a região é denominada como Complexo Nordeste (RADAM, 1980) e apresenta relevo suave ondulado e solos da classe Argissolo Vermelho Amarelo (horizonte B textural presente). O clima da região é caracterizado como tropical quente semiárido (BSw'h'), segundo Köppen (IPECE, 2006), com chuvas de fevereiro a maio; a precipitação pluvial média anual é de 1.096,9 mm e as temperaturas médias variam de 18° a 30° C. No período de realização deste estudo, entre os meses de abril e junho, verificou-se médias térmicas de 31°C e taxas de precipitação de 4,0 mm/dia (Figura 1).

Figura 1 - Precipitação média mensal no município de Bela Cruz (CE) no ano de 2013.



Fonte: Agritempo, 2014.

5.4.2 Manejo da área e delineamento experimental

O SAF foi estabelecido em 2007 e apresenta uma área de aproximadamente um hectare (110m x 90m). Após o corte seletivo da vegetação arbustivo-arbórea, com a preservação de duzentas árvores nativas por hectare, a área foi dividida em duas parcelas de 0,5 ha, uma das quais foi submetida à queima controlada e a outra teve seus garranchos amontoados em cordões de 0,5 m de largura, orientados no sentido perpendicular ao declive e distanciados de 3,0 m. O modelo de cultivo utilizado foi o de aleias, formadas por duas filas de gliricídia com o espaçamento de 0,5 m entre linhas e 0,5 m entre plantas. Foram estabelecidos o cajueiro (*Anacardium occidentale*), como cultura permanente, a leguminosa gliricídia (*Gliricidia sepium*) para fornecimento de adubo verde, o milho (*Zea mays*) e o feijão de corda (*Vigna unguiculata*) como culturas de interesse alimentar.

Quanto ao manejo, duas práticas diferenciaram as parcelas: o uso do fogo e a adição de resíduos orgânicos (material da poda das leguminosas, biocomposto e bagana de carnaúba). A poda da gliricídia foi realizada duas vezes por ano, ao longo da estação das chuvas. A biomassa da parte aérea (folhas e galhos finos) foi cortada em pedaços com cerca de 10 a 20 cm de comprimento e distribuída sobre o solo das aleias. Quanto à utilização da bagana de carnaúba, aplicou-se o equivalente a 16 Mg ha⁻¹ por toda a área das parcelas em que esse resíduo foi avaliado. Já o biocomposto (folhas de caju, esterco caprino e bagana de carnaúba) foi aplicado na quantidade de 116 g cova⁻¹ na cultura do milho e do feijão, o que correspondeu a 2,3 Mg ha⁻¹.

Tabela 1. Aleias manejadas com resíduos orgânicos em sistema agroflorestal

Tratamentos	Preparo do solo	Resíduo orgânico manejado
AG		gliricídia
AGBio	com fogo	gliricídia + biocomposto
AGBag		gliricídia + bagana de carnauba
AGBioBag		gliricídia+biocomposto+bagana
AG		gliricídia
AGBio	sem fogo	gliricídia + biocomposto
AGBag		gliricídia + bagana de carnauba
AGBioBag		gliricídia+biocomposto+bagana

* A: aleia; Gli: Gliricidia solteira; Bio: Biocomposto; Bag: Bagana; Biocomposto: composto por folhas de caju, esterco caprino e bagana de carnaúba.

Para a realização do estudo utilizou-se um delineamento em parcelas subdivididas com quatro repetições, considerando o fator “fogo” nas parcelas principais (com fogo e sem

fogo) e o fator “resíduos orgânicos” nas subparcelas (glirícidia - G, glirícidia com bagana de carnaúba - GBag e biocomposto - Bio). As amostras de solo foram coletadas nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-40cm.

5.4.3 Estoque de carbono

O C orgânico total (COT) foi determinado por oxidação a quente com dicromato de potássio e titulação com sulfato ferroso amoniacal, segundo método modificado de Yeomans e Bremner (1988). Os estoques de COT para cada profundidade foram calculados utilizando as seguintes expressões (LEITE *et al.*, 2003):

$$\mathbf{Est\ C = (COT \times Ds \times e)} \quad (1)$$

EstC é o estoque de carbono orgânico total em determinada profundidade; COT o teor de carbono orgânico total; Ds a densidade do solo, determinada pelo método do anel volumétrico, segundo Embrapa (1997) em cada profundidade e *e* é a espessura da camada considerada.

5.4.4 Fracionamento físico do carbono

Neste trabalho adotou-se o método descrito por Cambardella e Elliott (1992), utilizando como dispersante uma solução normal de NaOH na proporção 2:1 (solo:solução), seguido de agitação rápida por 15 min. O C determinado na fração retida na peneira de 53 µm foi denominado de carbono orgânico particulado (COP). Os valores de carbono associado aos minerais (COM) foram obtidos subtraindo do COT o COP.

5.4.5 Relação de estratificação e Índice de Sensibilidade

A relação estratificação (RE) foi calculada conforme proposto por Franzluebbbers (2002), sendo o conteúdo de C da camada superficial do solo (0-10cm) dividido pelo valor daqueles das camadas subsuperficiais (10-20 e 20-40cm). O índice de sensibilidade (IS) dos compartimentos da MOS foi calculado segundo Banger *et al.* (2010), pela fórmula:

$$\mathbf{IS = (C\ fração\ tratamento - C\ fração\ controle) \div C\ fração\ controle \times 100} \quad (2)$$

Logo, para determinação do IS utilizou-se os teores de carbono do solo de uma área testemunha, adjacente a área experimental (controle).

Os dados de cada parâmetro foram submetidos à análise de variância (ANOVA), sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade, utilizando-se do sistema computacional ASSISTAT, versão 7.4 beta.

5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao avaliar a camada de 0-10 cm, foram encontrados maiores teores da fração lábil de carbono (COP) para os tratamentos sem uso do fogo, exceto para o resíduo AGBio (Tabela 2). Na camada de 10-20 cm a ausência do fogo também resultou em maiores teores de COP, mas com exceção também ao tratamento representado pela mistura de resíduos (AGBioBag). Na camada mais profunda (20-40 cm) os maiores teores de COP foram observados nos tratamentos com uso do fogo. Embora transcorridos seis anos do preparo das aleias manejadas com fogo, observou-se que esse preparo promoveu decréscimo do COP no solo, principalmente nas camadas superficiais que receberam os resíduos AG e AGBio. Isso pode decorrer de alterações na dinâmica microbiana das aleias com esses tratamentos.

Tabela 2. Carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico associado aos minerais (COM), relação carbono orgânico particulado e carbono orgânico associado aos minerais (COP/COM) em Argissolo com adição de resíduos orgânicos e uso do fogo em sistema agroflorestal no semiárido.

Tratamentos	COP		COM		COP/COM (%)	
	g Kg ⁻¹					
	0-10 cm					
	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo
AG	0,23 cB	0,28 bA	22,73cA	19,45bB	1,01bB	1,43aA
AGBio	0,29 abA	0,19 cB	23,02cB	25,20aAB	1,25aA	0,75cB
AGBioBag	0,30 aB	0,47 aA	22,37bA	25,92aB	1,36aB	1,81bA
AGBioBag	0,27 bB	0,39 abA	23,38abA	25,54aB	1,15bB	1,52bA
	10-20 cm					
	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo
AG	0,18cB	0,36aA	21,41bcA	18,79cB	0,84cB	1,91aA
AGBio	0,31aAB	0,29abB	20,63cA	20,90bcA	1,50abA	1,38bA
AGBioBag	0,19cB	0,25bA	20,72aA	21,13bB	0,91cB	1,18bA
AGBioBag	0,28bA	0,22bB	25,18bAB	24,22aB	1,11bA	0,90cB
	20-40 cm					
	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo
AG	0,26 abA	0,09 bB	19,13 bA	23,64 bA	1,35 bA	0,38bA
AGBio	0,24 bA	0,09 bB	19,14 bA	20,35 bA	1,25 bA	0,44dB
AGBioBag	0,23 bB	0,36 aA	23,54 aA	17,92 cB	0,97 cB	2,00aA
AGBioBag	0,35 aA	0,35 aA	22,34 aB	29,46 aA	1,56 aA	1,18cdB

Letras minúsculas comparam médias em resposta aos resíduos orgânicos dentro de cada profundidade. Letras maiúsculas comparam médias em resposta aos fatores de tratamento com fogo e sem fogo dentro de cada resíduo orgânico. * A: aléia; Gli: Gliricidia solteira; Bio: Biocomposto; Bag: Bagana; Biocomposto: composto por folhas de caju, esterco caprino e bagana de carnaúba.

Os resultados deste estudo foram diferentes do que fora observado por Potes *et al.* (2010) em estudo no qual ambientes com intervenção do fogo apresentaram maiores proporções das frações mais lábeis da MOS. Isto corrobora com o ainda muito discutido efeito que o fogo promove sobre os compartimentos da MOS, visto que esse efeito é bastante variável, estando relacionado com a intensidade e recorrência do fogo, além do tipo de vegetação, textura do solo e clima (GONZALEZ PEREZ *et al.*, 2004; GRANGED *et al.*, 2011; KNIKER, 2007; SATIN *et al.*, 2008; VERGNOUX *et al.*, 2011;). O efeito do fogo está vinculado, portanto a diversos fatores, tais como o tipo de resíduo orgânico (composição químico-estrutural) presente e seus efeitos sobre a dinâmica da biota do solo.

Entretanto há maior consenso quanto à capacidade de aportar carvão ao solo pelo uso do fogo; portanto, a prática da queima contribuiria predominantemente no incremento de compartimentos mais estáveis (SMERNIK *et al.*, 2000; STEINER *et al.*, 2008) e em uma redução dos mais lábeis, como o COP. Esse efeito foi observado no presente estudo, visto que ocorreram maiores teores da fração COM em relação a fração COP (Tabela 2), principalmente nas camadas superficiais e com uso do fogo.

Os teores de COP apresentaram diferenças também em relação aos resíduos avaliados (Tabela 2), ocorrendo maiores teores deste compartimento nas aleias com resíduos combinados AGBioBag e AGBag. Na camada de 0-10 cm os maiores teores de COP ocorreram para o resíduo AGBag, enquanto que nas camadas 10-20 cm e 20-40 cm ocorreram para os resíduos AGBio e AGBioBag, respectivamente. Em estudos de Sá *et al.* (2001), os teores de COP são dependentes do conteúdo de carbono aportado pelos resíduos vegetais. Os resíduos da glirícidia exerceram efeito no incremento do COP e os resíduos de bagana de carnaúba contribuíram com a proteção física dessa fração pela presença do componente cerífero nesse material. Maior acúmulo de carbono observado preferencialmente no COP indica, segundo Rossi (2012), a ocorrência de aporte considerável de biomassa, além de ser indicativo de maior estabilidade dos agregados do solo, principalmente dos macroagregados, conforme Heid *et al.* (2009).

O conteúdo de COM foi superior, predominantemente, na adição de resíduos combinados, AGBioBag e AGBag (Tabela 2) com e sem uso do fogo e nas três profundidades. Já os menores teores de COM foram observados mediante uso da leguminosa isoladamente, AG, ou apenas da combinação AGBio. Diante disso, é possível destacar o efeito do resíduo da bagana de carnaúba aumentando os conteúdos de frações mais estabilizadas da MOS, assim como incrementou os teores de COP.

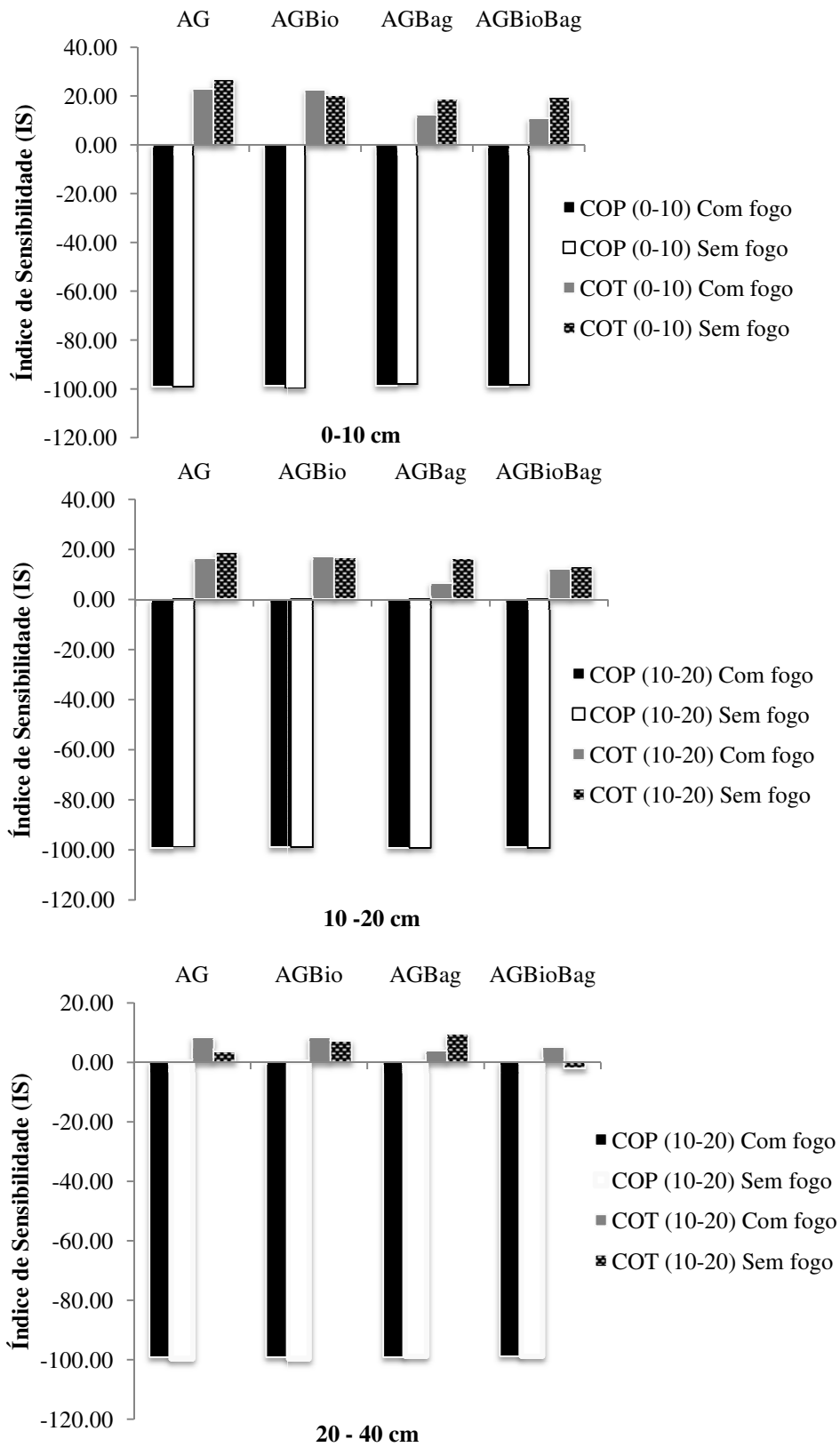
A maior concentração de COM indica processo mais eficiente de estabilização e humificação da MOS ocorrida nestas aleias. Além disso, conforme Pragna *et al.* (2012), a formação de complexos organo-minerais indica também maior conservação dos teores totais da MOS.

Ao que se verifica na aleia AGBioBag ocorreu a conservação dos resíduos mais lábeis (COP) e maior capacidade de estabilização da MOS. Isso indica maior eficiência da mistura de resíduos quanto às funções exercidas pela MOS, sendo um material facilmente decomponível e de maior estabilização. Carmo *et al.* (2012) ressaltam que quantidade adequada de COP é fundamental para garantir fluxo de carbono e manutenção da atividade biológica, enquanto que consideráveis teores de COM são importantes para garantir o suprimento dos microrganismos, os processos de oxidação da matéria orgânica e estoque de carbono prevenindo processos de perda e degradação do solo.

A relação COP/COM foi predominantemente maior no manejo sem queima, principalmente nas camadas superficiais. Para os resíduos também ocorreram diferenças entre valores da relação COP/COM (Tabela 2), com maiores valores no tratamento AG sem fogo e menores no tratamento AGBio sem fogo na camada 0-10cm. Na camada 10-20 cm foram maiores nas aleias AG e AGBio, e na camada 20-40 cm nas aleias AGBioBag e AGBio, no manejo sem fogo. Maiores valores da relação COP/COM indicam maior labilidade e incremento no fornecimento de substratos para o crescimento microbiano e consequente liberação de nutrientes para o solo (LOSS *et al.*, 2010).

Por meio do índice de sensibilidade (IS) foi constatado que a fração particulada da MOS, o COP, é a mais sensível às alterações do ambiente (Figura 2). Em todas as aleias foram quantificados maiores valores de IS do compartimento COP nas profundidades superficiais e na subsuperfície, independente do uso do fogo. Conforme Mielniczuk (2008) essa fração é altamente sensível às alterações no uso e manejo do solo e pode ser facilmente perdida pelo manejo inadequado principalmente nos primeiros anos de cultivo. Conceição (2005), ao estudar diferentes compartimentos da MOS quanto ao efeito do manejo, verificou maior sensibilidade do COP, estando esses, portanto, mais sujeitos a mudanças no ambiente.

Figura 2. Índice de sensibilidade das frações da matéria orgânica em Argissolo em sistema agroflorestal manejado com resíduos orgânicos



* A: aleia; Gli: Gliricidia solteira; Bio: Biocomposto; Bag: Bagana; Biocomposto: composto por folhas de caju, esterco caprino e bagana de carnaúba.

O manejo com fogo promoveu redução dos estoques de C do solo, principalmente nas camadas superficiais (0-10 e 10-20 cm). Portanto, observou-se que o uso do fogo reduz a capacidade de manutenção do conteúdo da MOS do solo, com as perdas de EstC variando de acordo com fatores do ambiente e manejo (SATIN *et al.*, 2008; VERGNOUX *et al.*, 2011).

Valores superiores de EstC ocorreram no tratamento AG nas três profundidades (Tabela 3). Observa-se que o manejo dos resíduos da leguminosa gliricidia foi mais eficiente no incremento dos conteúdos de carbono total estocado nas aleias do SAF. Ngome *et al.* (2011), estudando o efeito das leguminosas em áreas de agricultura familiar na África, correlacionaram o incremento de carbono sequestrado no solo ao elevado conteúdo orgânico aportado pela biomassa vegetal da gliricidia. Esse fato é correlato à labilidade da MOS no tratamento AG, visto que esse apresentou maior labilidade em relação aos demais tratamentos e, portanto, maior aporte de conteúdo lábil de carbono, assim como dos conteúdos totais (EstC).

Conforme Costa *et al.* (2003) o incremento dos estoques de carbono ocorre a partir de sistemas de manejo que adicionam grandes quantidades de resíduos vegetais ao solo e determinam baixa intensidade de revolvimento aumentando a capacidade de estoque/sequestro do COT. O SAF estudado enquadra-se nessas características, com elevado potencial para manutenção dos estoques de COT e ainda, pela diversidade de resíduos orgânicos, aporta material orgânico com diferentes labilidades.

Embora alguns estudos reforcem que os SAFs aportam conteúdos de COT somente após 10 anos de adoção, verificou-se neste trabalho que em apenas seis (06) anos houve incremento significativo do carbono orgânico total. A esse fato foi aliada a utilização de resíduos com diferentes propriedades orgânicas e estruturais, permitindo equilíbrio entre compartimentos lábeis e estáveis. Iwata *et al.* (2012), ao estudar SAF no cerrado piauiense, observaram que em apenas 9 anos de adoção o manejo agroflorestral elevou significativamente os estoques de carbono do solo superando a área utilizada como referência.

Tabela 3. Estoques de carbono em Argissolo manejado com resíduos orgânicos e fogo em sistema agroflorestral no semiárido.

Tratamentos	Est C (Mg ha ⁻¹)					
	0-10 cm		10-20 cm		20-40 cm	
	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo
AG	1,55abB	1,60aA	3,15abB	3,22aAB	3,22aA	3,07bB
AGBio	1,05cB	1,52bA	3,07bB	3,16abA	3,22aAB	3,18abB

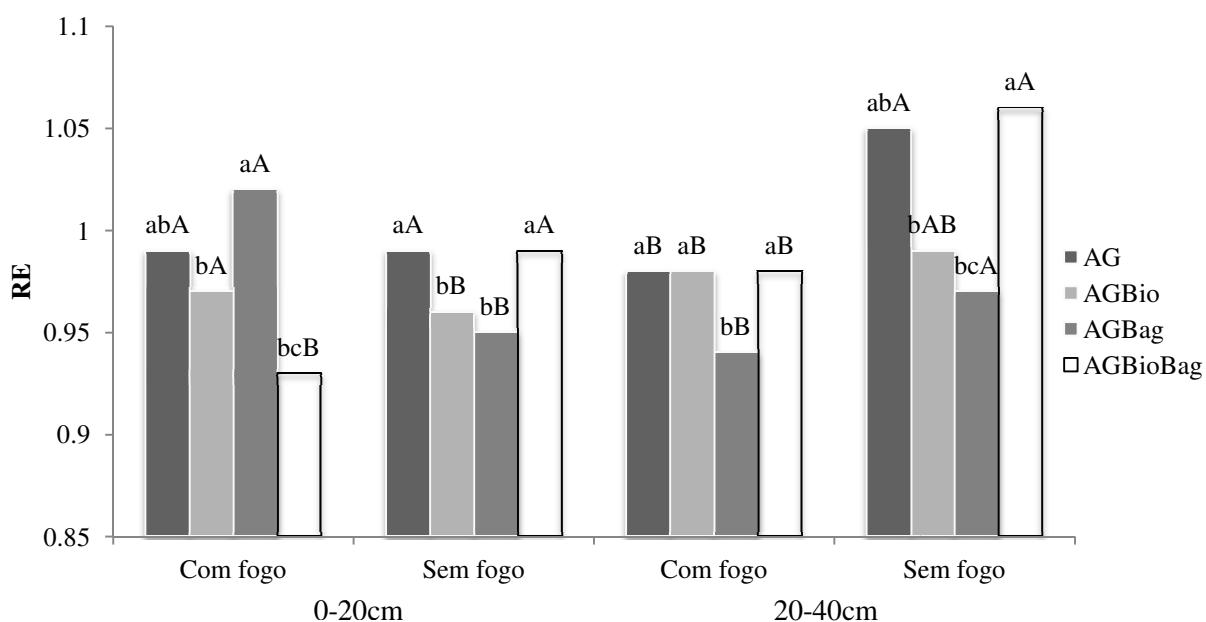
AGBag	1,42bB	1,50bA	2,88cB	3,16abA	3,08bB	3,25aA
AGBioBag	1,04cB	1,51bA	3,04bcA	3,07bA	3,12abA	2,90cB

Letras minúsculas comparam médias nas colunas em resposta aos resíduos orgânicos dentro de cada profundidade. Letras maiúsculas comparam médias em resposta aos fatores de tratamento com fogo e sem fogo dentro de cada resíduo orgânico. * A: aléia; Gli: Gliricidia solteira; Bio: Biocomposto; Bag: Bagana; Biocomposto: composto por folhas de caju, esterco caprino e bagana de carnaúba.

Na Figura 3 observa-se que houve efeito dos resíduos orgânicos sobre a relação de estratificação (RE) de carbono do SAF, bem como o efeito do fogo. Na camada de 0-20 cm a maior RE foi encontrada associada ao resíduo AGBioBag. Já na camada de 20-40 cm a maior RE foi observada para os resíduos AGBag e AGBioBag. O SAF possibilitou essa estratificação pelo efeito combinado do aporte dos resíduos orgânicos e pela mínima mobilização do solo, semelhante ao que se verifica em ambientes naturais (FERREIRA *et al.*, 2012) e em sistemas de plantio direto (FERREIRA *et al.*, 2011; SÁ; LAL, 2009;).

Tormena (2004) e Loss *et al.* (2009), além de associarem a maior RE à influência dos resíduos deixados em superfície e ao mínimo ou ausente revolvimento do solo, destacaram também a maior concentração de raízes nas camadas superficiais. Embora as aleias manejadas sem fogo tenham apresentado maior RE, nas aleias com fogo também ocorreram diferenças significativas nesta relação entre as camadas analisadas, reforçando as variações decorrentes dos resíduos, indicando também a ocorrência da estratificação do carbono, mesmo manejadas com queima, conforme Matias *et al.* (2012).

Figura 3 - Relação de estratificação do carbono orgânico total em Argissolo sob manejo de resíduos orgânicos e queima em sistema agroflorestal no semiárido



Letras minúsculas comparam médias em resposta aos resíduos orgânicos dentro de cada profundidade. Letras maiúsculas comparam médias em resposta aos fatores de tratamento com fogo e sem fogo dentro de cada resíduo orgânico. * A: aléia; Gli: Gliricidia solteira; Bio: Biocomposto; Bag: Bagana; Biocomposto: composto por folhas de caju, esterco caprino e bagana de carnaúba.

5.6 CONCLUSÕES

1. O manejo das aleias com fogo reduz o conteúdo lábel do carbono na camada superficial do solo mesmo após seis anos do preparo do solo com queima;

2. As aleias manejadas com a combinação dos resíduos de gliricidia, biocomposto e bagana de carnaúba (AGBioBag) foram eficientes no equilíbrio da dinâmica entre a manutenção de compartimentos mais lábeis da MOS assim como dos compartimentos mais estáveis e mais eficientes na estratificação do carbono no perfil do solo;

3. Houve em todas as aleias maior sensibilidade do carbono orgânico particulado (COP) como indicador de qualidade em relação ao conteúdo total de carbono do solo;

5.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANGER, K; TOOR, G.S.; BISWAS, A.; SIDHU, S.S.; SUDHIR, K. **Soil organic carbono fraction after 16-years of applications os fertilizer and organic manure in a Tipic Rhodalfs in semi-arid tropics.** Nutrient Cycling in Agroecosystems, v. 86 p. 391-399. 2010.

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, E.T. **Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence.** Soil Science Society of America Journal, Madison, v.56, p.777-783, 1992.

CARMO, F.F. et al. **Frações granulométricas da matéria orgânica em latossolo sob plantio direto com gramíneas.** Biosci. J. Uberlândia, v. 28, n. 3, p. 420-431, Mai. 2012.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. **Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 9, p 777-788, 2005.

COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V. ;WOBETO, C. **Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional.** R. Bras. Ci. Solo, v. 27, p 527-535, 2003.

FERREIRA, A.O. et al . **Relação de estratificação como indicador do sequestro de carbono em macroagregados de Latossolo sob plantio direto.** Cienc. Rural, Santa Maria , v. 42, 2012 .

FERREIRA, A.O. et al. **Variação na resistência tênsil de agregados em função do conteúdo de carbono em dois solos na região dos Campos Gerais.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.35, p.437-446, 2011.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. **Qualidade física do solo em pomar de laranja no noroeste do paraná com manejo da cobertura permanente na entrelinha.** Rev. Bras. Ciênc. Solo, Viçosa, v. 31, 2007.

FRANZLUEBBERS, A.J. **Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality.** Soil and Tillage Research, v.66, p 95-106, 2002.

HEIDE, D.M.; VITORINO, A.C.T.; TIRLONI, C.; HOFFMANN, N.T.K. **Fra es orgânicas e estabilidade dos agregados de um Latossolo Vermelho Distroférico sob diferentes usos.** R. Ci. Agr., v. 51, 143-160, 2009.

IWATA, B. F. et al. **Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do cerrado piauiense.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.16, p.730–738, 2012.

KNICKER, H. **How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon? A review.** Biogeochemistry, v. 85, p 91-118, 2007.

LOSS, A., PEREIRA, M. G; FERREIRA, E. P. SANTOS, L. L; BEUTLER, S. J; FERRAZ-JUNIOR, A. S. L. **Fra es oxidáveis do carbono orgânico do solo em sistemas de aléias sob Argissolo Vermelho Amarelo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 33, p. 867-874, 2009.

LOSS, A.; MORAES, A.G.L.; PEREIRA, M.G.; SILVA, E.M.R.; ANJOS, L.H.C. **Carbono, m teria orgânica leve e fra es oxidáveis do carbono orgânico sob diferentes sistemas de produ o orgânica.** Comunicata Scientiae, v.1, p.57-64, 2010.

MATIAS, S.S. R.; CORREIA, M.A. R.; CAMARGO, L.A.; DE FARIAS, M. T.; CENTURION, J. F.; NÓBREGA, J. C. A. **Influência de diferentes sistemas de cultivo nos atributos físicos e no carbono orgânico do solo.** Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.7, p.414-420, 2012.

MIELNICZUK, J. **M teria orgânica e sustentabilidade de sistemas agrícolas.** In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A.O., eds. Fundamentos da m teria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. 2.ed. Porto Alegre, Metr pole, 2008. p.1-5.

OELBERMANN, M.; VORONEY, R.; GORDON, A. **Carbon sequestration in tropical and temperate agroforestry systems: a review with examples from Costa Rica and southern Canada.** Agriculture Ecosystems & Environment, v.104, p.359-377, 2004.

PORTUGAL, A.F.; COSTA, O.D.'A. V.; COSTA, L.M. da; SANTOS, B.C.M. dos.
Atributos químicos e físicos de um Cambissolo Háplico Tb distrófico sob diferentes usos na Zona da Mata mineira. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p.249-258, 2008.

POTES, M.L et al. **Matéria orgânica em Neossolo de altitude: influência do manejo da pastagem na sua composição e teor.** Rev. Bras. Ciênc. Solo , v.34, p. 23-32, 2010.

PRAGANA, R.B.; NÓBREGA, R.S.A.; RIBEIRO, M.S.; LUSTOSA Filho, J.F. **Atributos biológicos e dinâmica da matéria orgânica em Latossolos amarelos na região do Cerrado piauiense sob sistema plantio direto.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 36, p 851-858, 2012.

SÁ, J.C.M.; LAL, R. **Stratification ratio of soil organic matter pools as an indicator of carbon sequestration in a tillage chronosequence on a Brazilian Oxisol.** Soil and Tillage Research, v.103, p.46-56, 2009.

SANTÍN, C.; KNICKER, H.; FERNÁNDEZ, S.; MENÉNDEZDUARTE, R.; ÁLVAREZ, M.A. **Wildfires influence on soil organic matter in an Atlantic mountainous region (NW of Spain).** Catena, v. 74, p 286-295, 2008.

SMERNIK, L.S.; OADES, J.M. **The use of spin counting for determinig quantitation in solid state ¹³C NMR spectra of natural organic matter. 1. Model systems and the effects of paramagnetic impurities.** Geoderma, Amsterdam, v. 96, p 1001-109, 2000.

TORMENA, C.A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J.C.; COSTA, A.C.S.; FIDALSKI, J. **Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo.** R. Bras. Ci. Solo, 28:1023-1031, 2004.

VERGNOUX, A.; DI ROCCO, R.; DOMEIZEL, M.; GUILIANO, M.; DOUMENQ, P.; THÉRAULAZ, F. **Effects of forest fires on water extractable organic matter and humic substances from Mediterranean soils: UV-vis and fluorescence spectroscopy approaches.** Geoderma, v.160, p 434-443,2011.

XAVIER, F.A.S.; MAIA, S.M.F.; OLIVEIRA, T.S. & MENDONÇA, E.S. **Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba – CE.** R. Bras. Ci. Solo, 30:247-258, 2006.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. **A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil.** Commun. Soil Sci. Plant Anal, v. 19, p 1467-1476, 1988.

6. CAPÍTULO IV. FRACIONAMENTO E ANÁLISE ISOTÓPICA DA MATÉRIA ORGÂNICA DE ARGISSOLO EM SISTEMA AGROFLORESTAL

6.1 RESUMO

Os processos de transformação e de humificação da matéria orgânica do solo (MOS) ainda são pouco compreendidos, principalmente quando ocorridos em sistemas de manejo estruturalmente diversificados e complexos, como os Sistemas Agroflorestais (SAFs). Este estudo foi conduzido com o objetivo de quantificar as frações químicas e o grau de humificação da MOS, bem como o fracionamento isotópico do carbono presente em aleias manejadas com e sem fogo e com resíduos orgânicos em um SAF no semiárido. O estudo foi realizado por meio de experimento no qual foi adotado delineamento em parcelas subdivididas com quatro repetições. Nas parcelas foi avaliado o fator “fogo” (com fogo e sem fogo), enquanto que nas subparcelas foi avaliado o fator “resíduos orgânicos” nas aleias: glirícidia isolada - AG, glirícidia com bagana de carnaúba – AGbag, glirícidia com biocomposto e Glirícidia, bagana de carnaúba e biocomposto – AGBioBag. As análises foram feitas em amostras de solo coletadas nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-40 cm. Por meio do estudo foi constatado que houve efeito do preparo do solo com fogo, reduzindo os teores das frações húmicas e índice de humificação. Foi verificado também efeito significativo dos resíduos orgânicos nas frações húmicas da MOS, com maiores teores de C ocorrendo na fração húmica nas aleias manejadas com a combinação dos três resíduos orgânicos avaliados. Quanto ao fracionamento isotópico, foi identificado em todos os resíduos a discriminação de C^{13} para o carbono presente, assim como no solo das aleias estudadas, podendo inferir que o carbono presente na matéria orgânica do solo foi proveniente dos resíduos orgânicos aplicados, principalmente na forma estabilizada como substâncias húmicas.

Palavras-chave: substâncias húmicas, adubação orgânica, agroflorestas

CHAPTER IV. FRACTIONATION AND ISOTOPIC ANALYSIS OF ORGANIC MATTER OF ULTISOL IN AGROFORESTRY SYSTEM

6.2 ABSTRACT

Transformation processes and humification of soil organic matter (SOM) are still poorly understood, especially when occurring in structurally diverse and complex management systems, such as Agroforestry Systems (AFS). This study was conducted in order to quantify the chemical fractions and the degree of humification of SOM and the isotopic fractionation of carbon present in alleys managed with and without use of fire and with organic waste into an AFS in the semiarid. The study was conducted by means of experiment in which was

adopted a split plot design with four replications. In the plots we evaluated the factor "fire" (with fire and without fire), while the subplots evaluated the factor "organic waste" in the alleys: isolated gliricidia - AG, gliricidia with carnauba straw - AGbag, gliricidia with biocompound and Gliricidia, carnauba straw and biocompound - AGBioBag. The analyses were performed on soil samples collected at the 0-10, 10-20 and 20-40 cm depth. It was found effect of tillage with fire, reducing the levels of humic fractions and humification index. It was also observed significant effect of organic waste in humic fractions of SOM with high C values occurring in the humin fraction in alleys managed with a combination of the three organic wastes evaluated. With regard to isotopic fractionation, it was identified in all residues the C3 discrimination for carbon present as well as in the studied soil alleys, which can infer the translocation of carbon present in these residues for organic matter composition in soil, especially in the form stabilized as humic substances.

Keywords: humic substances, organic fertilization, agroforestry

6.3 INTRODUÇÃO

Os Sistemas Agroflorestais (SAFs) têm sido apontados como eficiente estratégia de aporte e manutenção da matéria orgânica do solo (MOS), sobretudo para regiões com condições climáticas que contribuem para a perda desse material, como ocorre no semiárido brasileiro (LEITE *et al.*, 2014; MORENO *et al.*, 2007; OLIVEIRA *et al.*, 2009). No entanto, os processos de transformação e humificação da MOS ainda são pouco compreendidos, principalmente quando ocorridos em sistemas de manejo estruturalmente diversificados e complexos, como os SAFs.

Silva *et al.* (2014) ressaltam que o entendimento dos processos de humificação da MOS ainda é limitado, principalmente para regiões tropicais, com destaque para a região semiárida do nordeste brasileiro. Conforme Bayer *et al.* (2003), grande maioria das pesquisas relacionadas aos processos da humificação está concentrada nas regiões de clima temperado. As substâncias húmicas (SH) são as frações da MOS mais estáveis, de maior recalcitrância, abundantes e ativas quimicamente (FERNANDEZ, 1997; JANDL *et al.*, 2007).

A alta estabilidade química das SH é atribuída à estrutura quimicamente complexa e às interações com minerais de argila e com cátions metálicos (THENG *et al.*, 1989). Assim, compreender a dinâmica da MOS na estabilização de seus compartimentos e os processos nela

envolvidos, como potencial de humificação e o papel de estocar ou sequestrar carbono, é fundamental para verificar a eficiência da adoção de sistemas de manejo (ROSS *et al.*, 2011).

Associada a caracterização das substâncias húmicas, outro estudo tem sido considerado fundamental para o entendimento do processo de transformação da MOS: a determinação isotópica do carbono (SILVA *et al.*, 2014). Considerando que em estudos anteriores foi demonstrado que os valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) da MOS se assemelham aos valores isotópicos da vegetação presente (VICTORIA *et al.*, 1995), a comparação dos teores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) da MOS, acompanhada do processo de humificação, poderia contribuir para o entendimento das rotas de transformação do carbono do solo, principalmente em ambiente com incremento variado de resíduos orgânicos. No entanto, o estudo da dinâmica da matéria orgânica em regiões tropicais utilizando essa abordagem ainda é incomum.

Assim, neste estudo foram testadas as seguintes hipóteses: 1) A utilização do fogo sobre o solo no sistema de preparo com queima diminui o potencial de estabilização da MOS; 2) A adição conjugada dos resíduos da poda da gliricídia, da bagana da carnaúba e do biocomposto promove maior humificação da matéria orgânica do solo; 3) Por meio do fracionamento isotópico constata-se que o carbono presente no solo é proveniente dos resíduos orgânicos aportados nas aleias. Nesse contexto, neste trabalho o objetivo foi quantificar as frações químicas e o grau de humificação da MOS e o fracionamento isotópico do carbono presente em aleias manejadas com e sem fogo e com resíduos orgânicos em SAF no semiárido.

6.4 MATERIAL E MÉTODOS

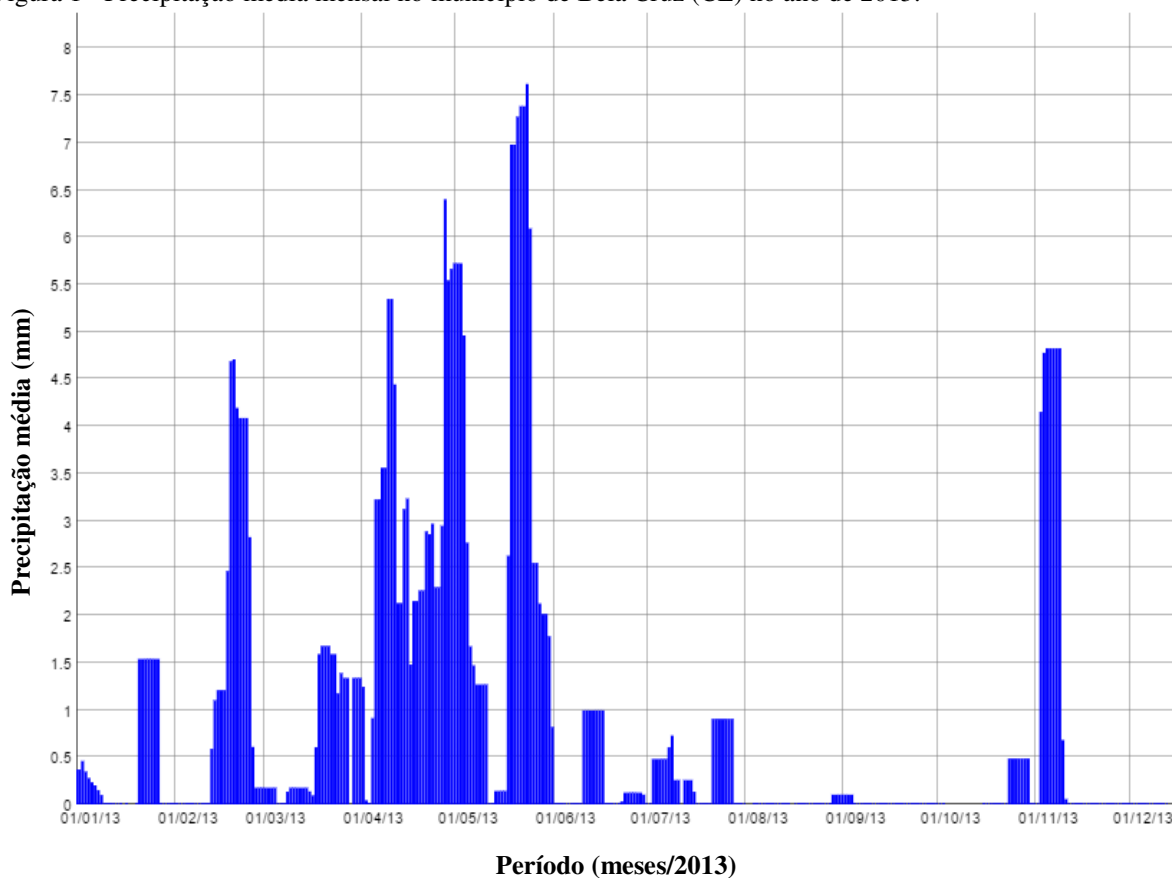
6.4.1 Localização e caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado em Bela Cruz (CE), na localização geográfica de 3°00'39,29"S/40°13'30,38"W, altitude de 50 m. A área experimental localiza-se em zona transicional com característica fitoecológica do Complexo Vegetacional da zona litorânea, ainda inserido no bioma Caatinga. Geologicamente, a região é denominada como Complexo Nordeste (RADAM, 1980) e apresenta relevo suave ondulado e solos da classe Argissolo Vermelho Amarelo (horizonte B textural presente).

O clima da região é caracterizado como tropical quente semiárido (BSw'h'), segundo Köppen (IPECE, 2006), com chuvas de fevereiro a maio; a precipitação pluvial média anual é de 1.096,9 mm e as temperaturas médias variam de 18° a 30° C. No período de

realização do estudo, entre os meses de abril e junho, verificou-se médias térmicas de 31°C e taxas de precipitação de 4,0 mm/dia (Figura 1).

Figura 1 - Precipitação média mensal no município de Bela Cruz (CE) no ano de 2013.



Fonte: Agritempo, 2014.

6.4.2 Manejo da área e delineamento experimental

O SAF foi estabelecido em 2007 e apresenta uma área de aproximadamente um hectare (110m x 90m). Após o corte seletivo da vegetação arbustivo-arbórea, com a preservação de duzentas árvores nativas por hectare, a área foi dividida em duas parcelas de 0,5 ha, uma das quais foi submetida à queima controlada e a outra teve seus garranchos amontoados em cordões de 0,5 m de largura, orientados no sentido perpendicular ao declive e distanciados de 3,0 m. O modelo de cultivo utilizado foi o de aleias, formadas por duas filas de gliricídia com o espaçamento de 0,5 m entre linhas e 0,5 m entre plantas. Foram estabelecidos o cajueiro (*Anacardium occidentale*), como cultura permanente, a leguminosa gliricídia (*Gliricidia sepium*) para fornecimento de adubo verde, o milho (*Zea mays*) e o feijão de corda (*Vigna unguiculata*) como culturas de interesse alimentar.

Quanto ao manejo, duas práticas diferenciaram as parcelas: o uso do fogo e a adição de resíduos orgânicos (material da poda das leguminosas, biocomposto e bagana de

carnaúba). A poda da gliricidia foi realizada duas vezes por ano, ao longo da estação das chuvas. A biomassa da parte aérea (folhas e galhos finos) foi cortada em pedaços com cerca de 10 a 20 cm de comprimento e distribuída sobre o solo das aleias. Quanto à utilização da bagana de carnaúba, aplicou-se o equivalente a 16 Mg ha⁻¹ por toda a área das parcelas em que esse resíduo foi avaliado. Já o biocomposto (folhas de caju, esterco caprino e bagana de carnaúba) foi aplicado na quantidade de 116 g cova⁻¹ na cultura do milho e do feijão, o que correspondeu a 2,3 Mg ha⁻¹.

Tabela 1. Aleias manejadas com resíduos orgânicos em sistema agroflorestal

Tratamentos	Preparo do solo	Resíduo orgânico manejado
AG		gliricidia
AGBio	com fogo	gliricidia + biocomposto
AGBag		gliricidia + bagana de carnauba
AGBioBag		gliricidia+biocomposto+bagana
AG		gliricidia
AGBio	sem fogo	gliricidia + biocomposto
AGBag		gliricidia + bagana de carnauba
AGBioBag		gliricidia+biocomposto+bagana

* A: aléia; Gli: Gliricidia solteira; Bio: Biocomposto; Bag: Bagana; f: manejo com fogo; Biocomposto: composto por folhas de caju, esterco caprino e bagana de carnaúba.

Para a realização do estudo utilizou-se um delineamento em parcelas subdivididas com quatro repetições, considerando o fator “fogo” nas parcelas principais (com fogo e sem fogo) e o fator “resíduos orgânicos” nas subparcelas (gliricidia - G, gliricidia com bagana de carnaúba - GBag e biocomposto - Bio). As amostras de solo foram coletadas nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-40cm.

6.4.3 Fracionamento químico do carbono

O fracionamento de substâncias húmicas foi realizado segundo o método sugerido pela International Humic Substances Society (SWIFT, 1996). Desse fracionamento, obtiveram-se as frações ácidos fúlvicos (FAF), ácidos húmicos (FAH) e huminas (FH). Do somatório de todas essas frações húmicas, foram obtidas as substâncias húmicas (SH). A determinação de C, em cada fração húmica, foi realizada conforme Yeomans e Bremner (1988). Dos teores de cada fração de SH foi calculada a relação entre as frações no extrato alcalino (FAF + FAH = EA) e a humina (HUM), obtendo-se a relação EA/HUM (BENITES *et al.*, 2003). O Índice de

humificação (IH) proposto por Canellas e Santos (2005) foi calculado por meio da seguinte fórmula:

$$IH = \frac{FAH + FAF + FHUM}{COT} \quad (1)$$

Esse índice permite inferir a proporção de matéria orgânica humificada em relação ao teor do COT do solo. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade, utilizando-se do sistema computacional ASSISTAT, versão 7.4 beta.

6.4.4 Determinações isotópicas de C

Para a determinação da composição isotópica, as amostras foram secas em estufa a 40 °C, homogeneizadas em almofariz de ágata e pesadas em cápsulas de estanho. Aproximadamente 3,5 mg de cada amostra foram usadas para determinar os valores de $\delta^{13}C$, em um espectrômetro de massas, de acordo com método preconizado por Groning e Groot (2004). Os métodos utilizados para determinar a composição isotópica da MOS estão detalhadamente descritos em Silva *et al.* (2012).

6.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A utilização do fogo no preparo da área exerceu efeito sobre os teores de C das frações húmicas da MOS, resultando em maiores teores quando não foi realizada a queima (Tabela 2). Essa resposta foi mais evidente para o carbono na fração humina. Embora transcorridos seis anos desde o uso do fogo no preparo das aleias, ainda são observados efeitos dessa prática. Ainda que ocorra decomposição direta da MOS, seguida por *input* de C decorrente dessa decomposição, a combustão dos resíduos orgânicos, a rápida mineralização da MOS e a perda direta de C durante a queima, podem levar à redução dos teores de C das frações mais estabilizadas. Isso ocorre pelo fato de que há indução da perda da MOS em decomposição antes mesmo de sua estabilização, bem como por um *output* de C já humificado, considerando principalmente períodos de médio e longo prazos.

No entanto, as informações sobre os efeitos do uso do fogo na quantidade da matéria orgânica do solo (MOS) ainda geram conflitos, com relatos tanto do seu aumento (BRYE, 2006; POTES *et al.*, 2010) quanto da sua diminuição (DE LA ROSA *et al.*, 2008; LEITE *et al.* 2014). Neste estudo ocorreu redução das frações húmicas nas aleias manejadas com fogo em relação àquelas sem fogo, principalmente nas frações FHUM e FAF,

contrariando a ideia da formação de estruturas mais recalcitrantes a partir de compostos orgânicos mais lábeis pela ação do fogo. No entanto, é válido ressaltar que a formação desses componentes recalcitrantes depende da intensidade e duração do fogo (GONZÁLEZ-PÉREZ *et al.*, 2004; SANTÍN *et al.*, 2008) e também das condições ambientais (CERTINI, 2005).

Em relação aos compartimentos húmicos, foi observado, mesmo nas aleias manejadas com fogo, predomínio do C da FHUM (Tabela 2). O aumento dessa fração nas aleias manejadas com fogo pode ser atribuído a esse manejo, visto que o uso do fogo pode alterar também a distribuição dos compartimentos húmicos da MOS, ocasionando aumento da concentração de humina em detrimento de FAH e de FAF (KNICKER *et al.*, 2005).

Tabela 2. Carbono das frações químicas fração ácido fúlvico (FAF), fração ácido húmico (FAH) e fração humina (FHUM)) da matéria orgânica em Argissolo em sistema agroflorestal manejado com e sem uso do fogo e com resíduos orgânicos no semiárido.

Aléias	FHUM		FAF g/kg		FAH	
	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo
0-10cm						
AG	15,52bB	17,61aA	6,60bB	7,34cA	2,30aA	1,40cB
AGBio	12,21cB	17,32aA	5,02cB	7,12cA	1,93cA	1,97bA
AGBag	12,45cB	15,59bA	8,28aA	8,23bA	1,33dB	2,42aA
AGBioBag	16,72aB	17,10aA	6,59bB	9,43aA	1,90bA	1,25cB
10-20cm						
AG	11,50bB	15,72bA	5,27cB	7,29bA	1,80bA	1,53cB
AGBio	11,89bB	16,49aA	6,40bB	9,22aA	1,62bB	2,11bA
AGBag	11,50bB	16,48aA	8,91aA	7,28bB	2,30aA	2,11bA
AGBioBag	13,80aB	16,21aA	6,72bB	9,31aA	2,10aB	2,91aA
20-40cm						
AG	11,39cB	14,20cA	7,40aA	6,20dB	1,22cB	1,60cA
AGBio	11,59cB	16,90bA	7,51aB	7,34cA	1,81bA	1,46cB
AGBag	12,51bB	16,89bA	6,09bB	8,32bA	1,80bB	3,11aA
AGBioBag	16,20aB	18,82aA	7,22aB	9,28aA	2,51aA	2,55bA

Letras minúsculas comparam médias em resposta aos resíduos orgânicos dentro de cada profundidade. Letras maiúsculas comparam médias em resposta aos fatores de tratamento com fogo e sem fogo dentro de cada resíduo orgânico. * A: aléia; Gli: Gliricidia solteira; Bio: Biocomposto; Bag: Bagana; Biocomposto: composto por folhas de caju, esterco caprino e bagana de carnaúba.

A adição de resíduos orgânicos diversificados também promoveu diferenças entre as frações húmicas da MOS (Tabela 2). No tratamento AGBioBag, que representa a combinação dos resíduos de gliricidia, bagana de carnaúba e biocomposto, verificou-se a ocorrência das maiores concentrações do C da FHUM e da FAF em todas as profundidades

mediante ausência do fogo, exceto nas camadas 0-20 e 20-40cm nas quais os maiores teores de FAF ocorreram associados aos resíduos AGBag e AG com uso fogo.

A ocorrência de processo eficiente de estabilização da MOS neste estudo pode ser inferida pelos altos teores de C da FHUM. Diversos trabalhos têm mostrado que em solos de regiões tropicais há predomínio do carbono dessa fração em relação às outras (CONTEH; BLAIR, 1998; ASSIS *et al.*, 2006). As huminas são substâncias desenvolvidas e resistentes à degradação microbiana, estão fortemente combinadas à fração mineral do solo, principalmente em solos oxídicos (SPARKS, 2001; STEVENSON, 1994). A alta concentração do C na fração humina pode implicar maior expressão das propriedades da fração coloidal da matéria orgânica, como: aumento da umidade e agregação do solo e maior retenção de cátions (SOUZA; MELO, 2003).

Os elevados valores de C-HUM podem estar relacionados ao tamanho das moléculas e ao maior grau de estabilidade que se relacionam com as características dos resíduos orgânicos utilizados neste estudo. O uso conjugado de resíduos com diferentes características estruturais pode auxiliar no equilíbrio da conservação da MOS, assim como na aceleração da decomposição e estabilização desta. A gliricídia possui baixa relação C/N e seus baixos teores de polifenóis e lignina (ALVES *et al.*, 2011) facilitam o processo de quebra e decomposição, enquanto a bagana de carnaúba tem na sua composição complexa mistura de ésteres de ácidos e hidroácidos componentes da cera que limita a desidratação e hidratação da palha, conseqüentemente protegendo-a contra a quebra e decomposição (VILLA LOBOS-HERNÁNDEZ; MULLER-GOYMAN, 2005). Adiciona-se a isso o elevado teor de lignina (12%) presente (GOMES *et al.*, 2009) e grupamentos químicos que contribuem diretamente com a resistência da bagana à decomposição.

Os elevados teores de C da FAF verificados nas aleias AGBioBag e AGBag, com e sem fogo, podem indicar maior incorporação dos resíduos orgânicos, bem como maior mobilidade dessa fração, denotando maior solubilidade desta fração no solo (PINHEIRO *et al.*, 2005). Possivelmente, os resíduos ao serem adicionados ao solo deste sistema de uso sofrem rápida ação de humificação, diminuindo a quantidade de carbono facilmente degradável (aminoácidos, polissacarídeos, etc) ou prontamente oxidável (MARTINS *et al.*, 2009).

Elevadas concentrações do C da FAF também indicam maior exposição da matéria orgânica do solo ao ataque dos microrganismos e rápida mineralização dos compostos orgânicos (CUNHA *et al.*, 2007), além de maior capacidade reativa dentre as frações húmicas

do solo. Portanto, essas constações sobre o C-FAF indicam a presença de MOS de alta qualidade química com elevado potencial de liberação de nutrientes.

Menores teores do C-FAH podem ter relação com as condições ambientais locais, conforme explicado por Ebeling *et al.* (2013). Esses autores, ao estudarem o fracionamento húmico da MOS, observaram que em condições térmicas amenas há predisposição na formação da fração húmica, das substâncias húmicas. Assim, considerando as condições ambientais do semiárido na qual o SAF estudado se enquadra, as médias térmicas caracteristicamente elevadas podem explicar as menores concentrações do C-FAH.

Na Tabela 3 observa-se que maiores os valores de extrato alcalino (EA) ocorreram no manejo com resíduos orgânicos conjugados de AGBag e AGBioBag com e sem fogo nas camadas mais superficiais (0-10 e 10-20cm), denotando também capacidade de conservação, por essas aleias de frações menos estáveis. Quanto à relação EA/FHUM também ocorreram maiores valores nas aleias AGBag e AGBioBag. Segundo Benites *et al.* (2005), essa relação pode referenciar a ocorrência de processos pedogenéticos, resultando em zonas de movimentação ou acúmulo de carbono. Para a relação EA/FHUM ocorreram muitas variações quanto ao preparo com ou sem fogo.

Tabela 3. Extrato alcalino (EA) e relação extrato alcalino e humificação (EA/FHUM) da matéria orgânica de Argissolo em sistema agroflorestal manejado com e sem fogo e com resíduos orgânicos no semiárido.

Aléias	EA		EA/FHUM	
	0-10cm			
	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo
AG	8,61bA	8,73cA	0,63bA	0,49cB
AGBio	6,93cB	9,08bA	0,56cA	0,52cA
AGBag	9,60aB	10,64aA	0,77aA	0,68aB
AGBioBag	8,52bB	10,68aA	0,51cB	0,62bA
10-20cm				
	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo
AG	7,11cB	8,83dA	0,61bA	0,56cB
AGBio	8,01bB	11,32bA	0,67bA	0,68bA
AGBag	11,19aA	9,90cB	0,97aA	0,60bB
AGBioBag	8,82bB	12,22aA	0,63bB	0,75aA
20-40cm				
	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo
AG	8,63cA	7,81cB	0,75aA	0,54bB
AGBio	9,30bA	8,81bB	0,80aA	0,52bB
AGBag	7,89dB	11,43aA	0,62bA	0,67aA
AGBioBag	10,05aB	11,80aA	0,62bA	0,62aA

Letras minúsculas comparam médias em resposta aos resíduos orgânicos dentro de cada profundidade. Letras maiúsculas comparam médias em resposta aos fatores de tratamento com fogo e sem fogo dentro de cada resíduo

orgânico. * A: aléia; Gli: Gliricidia solteira; Bio: Biocomposto; Bag: Bagana; Biocomposto: composto por folhas de caju, esterco caprino e bagana de carnaúba.

Conforme observado na Tabela 4, os maiores índices de humificação ocorreram nas aleias AGBioBag, com ou sem o uso do fogo no preparo do solo, nas três profundidades. Isso reforça o entendimento da eficiência da combinação de resíduos diferenciados estruturalmente na estabilização da MOS. Na Tabela 4 também é destacado o efeito do fogo na humificação da MOS, ocorrendo melhores índices (93%) nas aleias manejadas sem a queima. Neste sentido, nas aleias AGBioBag, por apresentar, predominante maiores taxas de IH, há maior recalitrância e estabilização do carbono do solo (LEITE, IWATA, ARAUJO; 2014).

Tabela 4. Índice de humificação da matéria orgânica em Argissolo em sistema agroflorestal manejado com e sem fogo e com resíduos orgânicos no semiárido.

Aléias	IH (%)					
	0-10cm		10-20cm		20-40cm	
	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo
AG	74,59bB	79,59bA	59,72cB	72,27cA	60,82bB	73,04cA
AGBio	61,57cB	91,82aA	60,87cB	87,85aA	65,08bB	90,57aA
AGBag	79,39abB	90,87aA	66,72bB	85,97bA	64,65bB	84,27bA
AGBioBag	84,98aB	93,46aA	83,21aA	83,36bA	74,64aB	90,18aA

Letras minúsculas comparam médias em resposta aos resíduos orgânicos dentro de cada profundidade. Letras maiúsculas comparam médias em resposta aos fatores de tratamento com fogo e sem fogo dentro de cada resíduo orgânico. * A: aléia; Gli: Gliricidia solteira; Bio: Biocomposto; Bag: Bagana; Biocomposto: composto por folhas de caju, esterco caprino e bagana de carnaúba.

As diferenças entre teores de C das frações húmicas observadas nas aleias predisõem o efeito que os resíduos orgânicos manejados no sistema exercem sobre a dinâmica da MOS. A relação entre o processo de humificação e os resíduos orgânicos pode ser observada nas Tabelas 5 e 6, nas quais se constata que não houve diferença no fracionamento isotópico dos resíduos manejados.

Tabela 5. Valores médios de $\delta^{13}C$ (‰) de resíduos orgânicos aplicados em aleias de um sistema agroflorestal

Resíduo orgânico	$\delta^{13}C$ (‰)*
Gliricidia	-27,11
Biocomposto	-25,89
Gliricidia + Bagana de carnaúba	-27,76
Gliricidia + Biocomposto	-27,54
Gliricidia + Bagana de carnaúba + Biocomposto	-26,98

*ns

Conforme observado nas Tabelas 5 e 6, os resíduos orgânicos aplicados nas aleias do SAF têm fracionamento isotópico do C, predominantemente, como C3. Com base na diferenciação entre ciclos fotossintéticos, o fracionamento de espécies vegetais discriminam o carbono como: espécies C3: -38 a -24 ‰ de $\delta^{13}\text{C}$; espécies C4: -17 a -9 ‰ de $\delta^{13}\text{C}$; e espécies CAM: -28 a -10 ‰ de $\delta^{13}\text{C}$ (BOUTTON, 1991; FREITAS *et al.*, 2001; O'LEARY, 1988; SANAIOTTI *et al.*, 2002).

A análise isotópica tem evidenciado que os valores de $\delta^{13}\text{C}$ da MOS seguem os valores isotópicos da vegetação presente (GOUVEIA *et al.*, 2002; MARTINELLI *et al.*, 2009; VICTORIA *et al.*, 1995). Nesse sentido, embora os resíduos orgânicos manejados no SAF em estudo sejam diversificados, há uma referência isotópica do C comum entre os mesmos e estes com o C do solo das aleias. Conforme Farquhar *et al.* (1982), o estudo isotópico permite observar o acompanhamento da movimentação dos elementos nos ecossistemas, no qual pode-se inferir uma contribuição significativa do C originado nesses resíduos para formação e estabilização da MOS do sistema.

Tabela 6. Valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) da matéria orgânica em Argissolo em sistema agroflorestal manejado com e sem fogo e com resíduos orgânicos no semiárido.

Aléias	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)**					
	0-10cm		10-20cm		20-40cm	
	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo	Com fogo	Sem fogo
AG	-26,61	-26,97	-26,87	-26,92	-26,01	-26,11
AGBio	-25,11	-25,19	-25,01	-25,26	-25,94	-25,81
AGBag	-25,77	-25,18	-25,18	-25,14	-26,16	-25,14
AGBioBag	-25,02	-27,12	-26,10	-25,97	-26,87	-25,93

* A: aléia; Gli: Gliricidia solteira; Bio: Biocomposto; Bag: Bagana; Biocomposto: composto por folhas de caju, esterco caprino e bagana de carnaúba. **ns

6.6 CONCLUSÕES

1. O manejo combinado de resíduos orgânicos foi mais eficiente na conservação dos teores de C ocorrendo na fração FHUM;
2. O preparo do solo com queima compromete os teores das frações húmicas e o índice de humificação da MOS;
3. O carbono C3 foi referência isotópica do C comum entre os resíduos e estes com o C do solo das aleias.

6.7 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALVES, R.N.; et al . **Relação entre qualidade e liberação de N por plantas do semiárido usadas como adubo verde.** Rev. bras. eng. agríc. ambient.,Campina Grande , v. 15, 2011.
- ARAUJO, J.K.S et al . **Humic Haplustox under different land uses in a high altitude environment in the Agreste region of Pernambuco, Brazil.** Rev. Bras. Ciênc. Solo, Viçosa , v. 38, 2014.
- BENITES, V.M.; MADARI, B.; MACHADO, P.L.O.A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 7p. (Embrapa Solos. Comunicado técnico, 16).
- BOUTTON, T.W. **Stable carbon isotope ratios of soil organic matter and their use as indicators of vegetation and climate change.** In: BOUTTON, T.W. & YAMASAKI, S., eds. Mass spectrometry of soils. New York, Marcel Dekker, 1996. p.47-82.
- BRYE, K.R. **Soil physiochemical changes following 12 years of annual burning in a humidsubtropical tallgrass prairie: A hypothesis.** Acta Oecol., v. 30, p 407-413, 2006.
- CANELLAS, L.P.; SANTOS, G. A. **Humusfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas.** Campos dos Goytacazes: UENF, 2005. 310p.
- CERTINI, G. **Effects of fire on properties of forest soils: A review.** Oecologia, v. 143, p 1-10, 2005.
- De La ROSA, J.M.; GONZÁLEZ-PÉREZ, J.A.; GONZÁLEZ-VÁZQUEZ, R.; KNICKER, H.; LÓPEZ-CAPEL, E.; MANNING, D.A.C.; GONZÁLEZ-VILA, F.J. **Use of pyrolysis/GC-MS combined with thermal analysis to monitor C and N changes in soil organic matter from a Mediterranean fire affected forest.** Catena, v. 74, p 296-303, 2008.
- FARQUHAR, G.D.; O'LEARY, M.H.; BERRY, J.A. **On the relationship between carbon isotope discrimination and the intercellular carbon dioxide concentration in leaves.** Aust. J. Plant Physiol., v. 9, p 121-37, 1982.
- FERNANDEZ, I.; CABANEIRO, A.; CARBALLAS, T. **Organic matter changes immediately after a wildfire in an Atlantic forest soil and comparison with laboratory soil heating.** Soil Biol. Biochem., v. 29, p 1-11, 1997.
- FREITAS, H.A.; PESSENDA, L.C.R.; ARAVENA, R.; GOUVEIA, S.E.M.; RIBEIRO, A.S.; BOULET, R. **Late Quaternary vegetation dynamics in the Southern Amazon Basin inferred from carbon isotopes in soil organic matter.** Quaternary Res., v. 55, p 39-46, 2001.
- GONZÁLEZ PÉREZ, M.; MARTIN-NETO, L.; SAAB, S.C.; NOVOTNY, E.H.; MILORI, D.M.B.P.; BAGNATO, V.S.; COLNAGO, L.A.; MELO, W.J.; KNICKER, H. **Characterization of humic acids from a Brazilian Oxisol under different tillage systems by EPR, ¹³C NMR, FTIR and fluorescence spectroscopy.** Geoderma, v. 118, p 181-190, 2004.

GOUVEIA, S.E.M.; PESSENDA, L.C.R.; ARAVENA, R.; BOULET, R.; SCHEEL-YBERT, R.; BENDASSOLI, J.A.; RIBEIRO, A.S.; FREITAS, H.A. **Carbon isotopes in charcoal and soils in studies of paleovegetation and climate changes during the late Pleistocene and the Holocene in the southeast and centerwest regions of Brazil.** Global Planet Change, v. 33, p 95-106, 2002.

GRONING, M.; GROOT, P.A. ed. **Handbook of stable isotope analytical techniques.** Amsterdam, Elsevier, 2004. p.874-906.

HENG, B.K.G.; TATE, K.R.; SOLLINS, P. **Constituents of organic matter in temperate and tropical soils.** In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M. & UEHARA, G., eds. Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems. Hawaii, NifTAL Project, 1989. p.5-32.

JANDL, G.; LEINWEBER, P.; SCHULTEN, H. R. **Origin and fate of soil lipids in a Phaeozem under rye and maize monoculture in Central Germany.** Biology and Fertility of Soils Journal, v.43, p.321, 2007.

KNICKER, H.; GONZÁLEZ-VILA, F.J.; POLVILLO, O.; GONZÁLEZ, J.A.; ALMENDROS, G. **Wildfire induced alterations of the chemical composition of humic material in a Dystric Xerochrept under a Mediterranean pine forest (*Pinus pinaster Aiton*).** Soil Biol. Biochem., v. 37, p 701-718, 2005.

LEITE, L.F.C; IWATA, B.F; ARAUJO, A.S.F. **Soil organic matter pools in a tropical savanna under agroforestry system in Northeastern Brazil.** Rev. Árvore, Viçosa, v. 38, p 711-723, 2014.

MARTINELLI, L.A.; OMETTO, J.P.H.B.; FERRAZ, E.S.; VICTORIA, R.L.; CAMARGO, P.B.; MOREIRA, M.Z. **Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis.** São Paulo, Oficina de Textos, 2009. 130p.

MARTINS, E.L.; CORINGA, J.E.S.; WEBER, O.L.S. **Carbono orgânico nas frações granulométricas e substâncias húmicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico LVAd sob diferentes agrossistemas.** Acta Amaz., v. 39, p 655-660, 2009.

MORENO, G.; OBRADOR, J. J.; GARCÍA, A. **Impact of evergreen oaks on soil fertility and crop production in intercropped dehesas.** Agriculture, Ecosystems and Environment, v.119, p 270-280, 2007.

O'LEARY, M.H. **Carbon isotopes in photosynthesis.** BioScience, 38:325-36, 1988.

OLIVEIRA, T. C. de. Caracterização, Índices Técnicos e Indicadores de Viabilidade Financeira de Consórcios Agroflorestais. Dissertação de Mestrado em Produção Vegetal, Universidade Federal do Acre – UFAC, Rio Branco – AC, 83 f., 2009.

POTES, M.L.; DICK, D.P.; DALMOLIN, R.S.D.; KNICKER, H.; ROSA, A.S. **Matéria orgânica em Neossolos de altitude: Influência da queima da pastagem e do tipo de vegetação na sua composição e teor.** R. Bras. Ci. Solo, v. 34, p 23-32, 2010.

SANAIOTTI, T.M.; MARTINELLI, L.A.; VICTORIA, R.L; TRUMBORE, S.E.; CAMARGO, P.B. **Past vegetation changes in Amazon Savannas determined using carbon isotopes of soil organic matter**, *Biotropica*, v. 34, p 2-16, 2002.

SANTÍN, C.; KNICKER, H.; FERNÁNDEZ, S.; MENÉNDEZ-DUARTE, R.; ÁLVAREZ, M.A. **Wildfires influence on soil organic matter in an Atlantic mountainous region (NW of Spain)**. *Catena*, v. 74, p 286-295, 2008.

SPARKS, D. **Environmental soil chemistry**. San Diego, Academic Press, 1995.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry: Genesis, composition, reactions**. 2.ed. New York, John Wiley & Sons, 1994. 496p.

SWIFT, R.S. **Organic matter characterization**. In: SPARKS, D.L.; PAGE, A.L.; HELMKE, P.A.; LOEPPERT, R.H.; SOLTANPOUR, P.N.; TABATABAI, M.A.; JOHNSTON, C.T.; SUMNER, M.E. (Ed.). **Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods**. Madison: Soil Science Society of America; American Society of Agronomy, 1996. p.1011-1020. (Soil Science Society of America Book Series, 5).

VICTORIA, R.L.; FERNANDES, F.; MARTINELLI, L.A.; PICCOLO, M.C.; CAMARGO, P.B.; TRUMBORE, S. **Past vegetation changes in the brazilian Pantanal arboreal-grass Savanna ecotone by using carbon isotopes in the soil organic matter**. *Global Change Biol.*, v.1, p 101-108, 1995.

VILLALOBOS-HERNÁNDEZ JR, MÜLLER-GOYMAN CC. **Novel nanoparticulate carrier system based on carnauba wax and decyl oleate for the dispersion of inorganic sunscreens in aqueous media**. *Eur J Pharm Biopharm*, v. 60,p 113–22, 2005.

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

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A.C.F.; AMORIM, A.P.; COELHO, K.P.; MOURA, E.G. **Environmental and agricultural benefits of a management system designed for sandy loam soils of the humid tropics.** R. Bras. Ci. Solo, v.33, p 1473-1480, 2009.
- AITA, C.; BASSO, C.J.; CERETTA, C.A.; GONÇALVES, C.N.; DA ROS, C.O. **Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho.** R. Bras. Ci. Solo, v. 5, p. 157-165, 2001.
- ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; JANTALIA, C. P.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. **Emprego de isótopos estáveis para o estudo do carbono e do nitrogênio no sistema solo-planta.** In: AQUINO, A. M. de; ASSIS, R. L. de (Ed.). Agroecologia: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005. p. 343-368.
- AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F. ; BRUM, A.C.R. **Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental.** R. Bras. Ci. Solo, v. 25, p 189-197, 2001.
- ARAÚJO FILHO, J.A. **Caatinga: agroecologia versus desertificação.** Ciência Hoje, v. 30, n. 180, p. 44-45, 2002.
- ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. **Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob Cerrado nativo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.31, p 1099-1108, 2007.
- BALIEIRO, F. C. et al. **Dinâmica da serapilheira e transferência de nitrogênio ao solo, em plantios de *Pseudosamanea guachapele* e *Eucalyptus grandis*.** Pesquisa agropecuária Brasileira, v.39, p 597-601, 2004.
- BATJES, N.H. **Total carbon and nitrogen in the soils of the world.** European Journal of Soil Science, v.47, p.151-163, 1996.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. **Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂.** R. Bras. Ci. Solo, v. 24, p 599-607, 2000.
- BERG, B.; LASKOWSKI, R. **Advances in ecological research. Litter decomposition: A guide to carbon and nutrient turnover.** 421 p. Vol. 38,2006. Elsevier Academic Press, San Diego, California, USA.
- BREMAN, A. H.; KESSLER, J.J. **The potential benefits of agroforestry in the Sahel and other semi-arid regions.** European Journal of Agronomy, v.7, p. 25–33, 1997.
- BROONKIRD, S.A.; FERNANDES, S.M.; NAIR, P.K.R. **Forests villages: an agroforestry approach to rehabilitating forest land degraded by shifting cultivation in Thailand.** Agroforestry System, v.2, p. 87-102, 1984.

- CAMPELLO, E. F. C.; FRANCO, A. A.; FARIA, S. M. F. **Aspectos ecológicos da seleção de espécies para sistemas agroflorestais e recuperação de áreas degradadas.** In: AQUINO, A. M. de; ASSIS, R. L. de. (Ed.). *Agroecologia: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável.* Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005. p. 467-482.
- CANELLAS, L.C. ; SANTOS, G.A. **Humosfera: Tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas.** Campos dos Goytacazes, 2005. 309p.
- CARMO, F.F. ; FIGUEIREDO, C.C.; RAMOS, M.L.G. ; VIVALDI, L.J. ; ARAÚJO, L.G. **Frações granulométricas da matéria orgânica em latossolo sob plantio direto com gramíneas.** Biosci. J., , v. 28, n. 3, p. 420-431, 2012.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. 1986. Resolução Conama nº 303. Disponível em:< www.mma.conama.gov.br/conama> Acesso em 20/06/2012.
- COSER, T.R.; FIGUEIREDO, C.C.; RAMOS, M.L.G.; JANNUZZI, H.; MARCHÃO, R.L.**Recuperação de carbono obtida por três métodos em frações da matéria orgânica de Latossolo, sob consórcio milho-forrageiras, no Cerrado.** Biosci. J., v. 28, p 91-97, 2012.
- COSTA, F.S.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A.; MIELNICZUK, J. **Carbono influenciado por sistemas de manejo no sul do Brasil.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 323-332, 2008.
- DELABIE, J. H. C.; JAHYNY, B.; NASCIMENTO, I. C.; MARIANO, S. F.; LACAU, S.; CAMPIOLO, S. **Contribution of cocoa plantations to the conservation of native ants (Insecta: Hymenoptera: Formicidae) with a special emphasis on the Atlantic forest fauna of southern Bahia, Brazil.** Biodiversity Conservation, v.16, p 2359-2384, 2007.
- DING,X.; HAN ,X.; LIANG, Y.; QIAO, Y.; LI, L.; LI, N. **Changes in soil organic carbon pools after 10 years of continuous manuring combined with chemical fertilizer in a Mollisol in China.** Soil & Tillage Research, v. 122, p 36-41, 2012.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 21p.
- FRAINDERAICH, N., coord. Atlas solarimétrico do Brasil: Cartas de isolinhas de radiação solar e insolação. Recife, Universidade Federal de Pernambuco, Companhia elétrica do São Francisco (CHESF), CEPTEL/ELECTROBRAS. 2000. v.3. 36p. Relatório Técnico)
- FRANCO, C.M.M.; CLARKE, P.J.; TATE, M.E.; OADES, J.M. **Hydrophobic properties and chemical characterization of natural water repellent materials in Australian sands.** Journal of Hydrology, p.47-58, 2000.
- GIONGO, V; GALVÃO, S.R.S.; MENDES, A.M.S.; GAVA, C.A.T.; CUNHA, T.J.F. **Soil organic carbon in the Brazilian Semi-arid Tropics.** Dynamic Soil Dynamic Plant, v. 4, p 11-20, 2011.

HOBBELEN, P. H. F.; van GESTEL, C. A. M. **Using dynamic energy budget modeling to predict the influence of temperature and food density on the effect of Cu on earthworm mediated litter consumption.** Ecological Modelling, LOCAL, v.202, p 373-384, 2007.

HUERTA, E.; RODRIGUEZ-OLAN, J.; EVIA-CASTILLO, I.; MONTEJOMENESES, E.; CRUZ-MONDRAGON, M.; GARCIA-HERNANDEZ, R.; URIBE, S. **Earthworms and soil properties in Tabasco Mexico.** European Journal Soil Biology, v.43, p.190-195, 2007.

INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO – INSA. **Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro** / Editores, Ricardo da Cunha Correia Lima, Arnóbio de Mendonça Barreto Cavalcante, Aldrin Martin Perez-Marin.- Campina Grande: INSA-PB, 2011. 209p. : i

IPECE – Instituto de Pesquisas Estratégicas do Ceará,
<http://www.ceara.gov.br/?secretaria=IPECE&endereco=http://www.ipece.ce.gov.br/>, consulta em 10.06.2012.

KANG, B.T. **Alley cropping- soil productivity and nutrient recycling.** Forest Ecology and Management, v.91, p 75-82, 1997.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S. **Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.27, p.773-959, 2003.

MAFRA, A.L.; MIKLÓS, A. A. W. ; VOCURCA, H. L.; HARKALY, A. H. ; MENDOZA, E. **Produção de fitomassa e atributos químicos do solo sob cultivo em aléias e sob vegetação nativa de cerrado.** R. Bras. Ci. Solo, v. 22, p.43-48, 1998.

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. **Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semiárido cearense.** Revista Árvore, v.30, p.837-848, 2006.

MARTINS, E.L.; CORINGA, J.E.S.; WEBER, O.L.S.; **Carbono orgânico nas frações granulométricas e substâncias húmicas de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico – LVAd sob diferentes agrossistemas.** Acta Amazonica, v.39, p 655 – 660, 2009.

MCNEELY, J. A.; SCHROTH, G. **Agroforestry and biodiversity conservation - tradiotional practices, presents dynamics, and the lessons for the future.** Biodiversity and Conservation, v.15, p 549-554, 2006.

MELO, J. T.; RESCK, D. V. S. **Retorno, ao solo, de nutrientes de serapilheira de pinus no cerrado do Distrito Federal. Planantina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. 18p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/Embrapa Cerrados, 75).**

- MENDONÇA, E. S.; STOTT, D. E. **Characteristics and decomposition rates of pruning residues from a shaded coffee system in Southeastern Brazil**. *Agroforestry Systems*, v.57, p 117-125, 2003.
- MENDONÇA, E.S.; MATOS, E.S. **Matéria orgânica do solo; métodos de análises**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2005. 107p.
- MENEZES, R.S.C.; SALCEDO, I.H. **Mineralização de N após incorporação de adubos orgânicos em um Neossolo Regolítico cultivado com milho**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, p 361-367, 2007.
- MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F. & DEBARBA, L. **Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio**. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S. & ALVAREZ V., V.H., eds. *Tópicos em ciência do solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3. p.209-248.
- NORGROVE, L.; CSUZDI, C.; FORZI, F.; CANET, M.; GOUNES, J. **Shifts in soil faunal community structure in shaded cacao agroforests and consequences for ecosystem function in Central Africa**. *Tropical Ecology*, v.50, p.71-78, 2009.
- OELBERMANN, M.; VORONEY, R. P.; THEVATHASAN, N. V.; GORDON, A. M.; KASS, D. C. L.; SCHLONVOIGT, A. M. **Soil carbon dynamics and residue stabilization in a Costa Rican and southern Canadian alley cropping system**. *Agroforestry System*, v.68, p.27-36, 2006.
- PASSOS, C.A.M; COUTO, L. **Sistemas Agroflorestais potenciais para o estado do Mato Grosso do Sul**. In: **Seminário para Sistemas Florestais para o estado do Mato Grosso do Sul**. Douras, 1997. Embrapa CPAO, 1997. p.16-22.
- PERIN, A.; GUERRA, J. G. M.; TEIXEIRA, M. G.; PEREIRA, M. G. ; FONTANA, A. **Efeito da cobertura viva com leguminosas herbáceas perenes na agregação de um Argissolo**. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 26, p.713-720, 2002.
- POLYAKOVA, O.; BILLOR, N. **Impact of deciduous tree species on litterfall quality, decomposition rates and nutrient circulation in pine stands**. *Forest Ecology and Management*, v.253, p11-18, 2007.
- PRITCHETT, W. L. **Properties and management of forest soils**. New York: John Wiley, 1979. 500p.
- REITSMA, R.; PARRISH, J. D.; MCLARNEY, W. **The role of cacao plantations in maintaining forest avian diversity in southeastern Costa Rica**. *Agroforestry System*, v.53, p 185193, 2001.

- RESENDE, A.S. de; XAVIER, R.P.; QUESADA, D.M; URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M. **Use of green manures in increasing inputs of biologically fixed nitrogen to sugar cane.** *Biology and Fertility of Soils*, v.37, p 215-220, 2003.
- SA, J. C. M.; LAL, R. **Stratification ratio of soil organic matter pools as an indicator of carbon sequestration in a tillage chronosequence on a Brazilian Oxisol.** *Soil & Tillage Research. Res.* v.103, p 46–56, 2009.
- SAHA, J. K.; SINGH, A.B.; GANHESHAMURTY, A. N.; KUNDU, S.; BISWAS, A. K. **Sulfur accumulation in vertsoil due to continuous gypsum application for six years and its effect on yield and biochemical constituents of soybean (*Glycine max* L. Merrill).** *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v 164, p 317-320, 2001.
- SALCEDO, I.H.; TIESSEN, H. & SAMPAIO, E.V.S.B. **Nutrient availability in soil samples from shifting cultivation sites in the semi-arid Caatinga of NE Brazil.** *Agric. Ecosyst. Environ.*, v.65, p 177-186, 1997.
- SAMPAIO, T.F.; FERNANDES, D.M.; GUERRINI, I.A.; BOGIANI, J.C.; BACKES, C. **Comparação entre métodos para determinação de Carbono orgânico em amostras de solo mensuradas por volume ou massa.** *R. Bras. Ci. Solo*, v.36, p 517-523, 2012.
- SÁNCHEZ, M.D. **Panorama dos sistemas agroflorestais pecuários na América Latina.** In: CARVALHO, M.M.; ALVIM, M.J.; CARNEIRO, J.C. *Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais.* Juiz de Fora: 2001. p. 9-17.
- SANCHEZ, P. A. **Properties and management of soils in the tropics.** New York: John Wiley and Sons, 1976. 409p
- SAS Institute Inc. **SAS User's Guide: Statistics.** Version 9.1. Cary: SAS, 2003. 176p
- SILVA, V.L.; PERGHER, M.; FAVARETTO, N.; MOLIN, R.; DIECKOW, J. **Estoque de carbono em sistemas de culturas para grãos e forragem sob plantio direto.** *Synergismus scyentifica, UTFPR, Pato Branco*, v. 4, 2009.
- SILVEIRA, N. D.; PEREIRA, M. G.; POLIDORO, J. C.; TAVARES, S. R. de L.; MELLO, R. B. **Aporte de nutrientes e biomassa via serapilheira em sistemas agroflorestais em Paraty (RJ).** *Ciência Florestal, Santa Maria*, v. 17, p. 129-136, 2007.
- SMILEY, G. L.; KROSCHEL, J. **Temporal change in carbon stocks of cocoa-gliricidia agroforests in Central Sulawesi, Indonesia.** *Agroforestry System*, v.73, p.219-231, 2008.
- SMITH, J. L.; PAUL, E. A. **The significance of soil biomass estimates.** In: BOLLAG, J. M.; STOTTZKY, G., ed. *Soil Biochemistry*, 6. New York: Marcel Decker, p. 357-396. 1990.
- SOUTO, P.C.; SOUTO, J.S.; SANTOS, R.V.; ARAÚJO, G.T.; SOUTO, L.S. **Decomposição de esterco disposto em diferentes profundidades em área degradada no semiárido da Paraíba.**

SOUZA, J.L.; PREZOTTI, L.C.; GUARÇONI, A. **Potencial de sequestro de carbono em solos agrícolas sob manejo orgânico para redução da emissão de gases de efeito estufa.** IDESIA, Chile, v. 30, n.1, 2012.

SWIFT, R.S. **Organic matter characterization.** In: SPARKS, D.L.; PAGE, A.L.; HELMKE, P.A.; LOEPPERT, R.H.; SOLTANPOUR, P.N.; TABATABAI, M.A.; JOHNSTON, C.T.; SUMNER, M.E. (Ed.). *Methods of soil analysis.* Madison: Soil Science Society American, 1996. p.1011-1020.

TIESSEN, H.; MOIR, J.O. **Characterization of available P by sequential extraction.** In: **Carter MR (ed) Soil sampling and methods of analysis.** Canadian Society of Soil Science, Lewis Publishers, Boca Raton, pp 75–86, 1993.

TIESSEN, H.; SALCEDO, I.H. & SAMPAIO, E.V.S.B. **Nutrient and soil organic matter dynamics under shifting cultivation in semi-arid Northeastern Brazil.** *Agric. Ecosyst. Environ.*, v.38, p 139-151, 1992.

URQUIAGA, S.; ZAPATA, F. **Fertilización nitrogenada em sistemas de producción agrícola.** In: URQUIAGA, S.; ZAPATA, F. *Manejo eficiente de la fertilización nitrogenada de cultivos anuales em América Latina y el Caribe.* Porto Alegre: Gênese; Rio de Janeiro: Embrapa Agrobiologia, 2000. p.77-88.

VITAL, A. R. T. **Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma Floresta Estacional Semidecidual em Zona Ripária.** *Revista Árvore*, v.28, p.793-800, 2004.

WOLF, B.; SNYDER, G.H. **Sustainable Soils: The place of organic matter in sustaining soils and their productivity, food products** Press of the Haworth press. New York, 2003.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. **A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil.** *Communications in Soil Science Plant Analysis*, v.19, p 1467- 1476, 1988.