

JULIANA MARTINS RIBEIRO

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DO SOLO EM SISTEMAS
AGROFLORESTAIS DO NORTE DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Produção Vegetal do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Produção Vegetal.

Área de concentração: Produção Vegetal

Orientador: Prof. Luiz Arnaldo Fernandes
Coorientadora: Prof.^a Leidivan Almeida Frazão

Montes Claros
2014

JULIANA MARTINS RIBEIRO

ATRIBUTOS QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DO SOLO EM SISTEMAS
AGROFLORESTAIS DO NORTE DE MINAS GERAIS

Prof. Dr. Luiz Arnaldo Fernandes
(Orientador – ICA/UFMG)

Aprovada em 31 de julho de 2014.

Montes Claros
2014

DEDICATÓRIA

À minha família, em especial à minha filha Alice Gabriela e a todos que contribuíram para a conclusão desta pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiro a Deus, que me deu a oportunidade da vida e, com isso, posso estar concluindo um dos meus objetivos, o Mestrado.

À minha mãe, Regina, que sempre me incentivou nos estudos, sempre me aconselhou: “o estudo está em primeiro lugar”. Obrigada por tudo!

À minha irmã, Ana Claudia e ao meu pai, Antônio, que sempre torceram por minhas vitórias.

Ao meu esposo, Igor, que me ajudou neste objetivo e ajudará em muitos outros. Obrigada pelo seu companheirismo, amor e dedicação à nossa família. À minha filha, Alice, que me transformou em uma pessoa melhor.

Aos meus orientadores, prof. Luiz Arnaldo e prof.^a Leidivan, obrigada pelos conselhos, críticas, colaboração, conhecimentos repassados durante todo o trabalho e amizade. Os seus ensinamentos foram valiosos para a minha formação.

À Pesquisadora da Embrapa Dra Iêda de Carvalho Mendes, agradeço as valiosas sugestões e esclarecimentos após leitura desta dissertação.

Ao prof. Regynaldo, que muito gentilmente me emprestou o seu laboratório para as minhas análises. Obrigada pelos ensinamentos, experiências repassadas e por sua amizade.

Ao prof. Igo Lepsch, a amizade, os ensinamentos e a orientação.

A todos os professores do Mestrado que repassaram os seus conhecimentos com dedicação e amor à profissão.

Ao MSc Márcio, por ter me repassado os seus conhecimentos para a condução desta pesquisa e pela amizade. Aos alunos Ágda, Marcos e Paulo por terem me ajudado no desenvolvimento do experimento. Sem vocês, o meu trabalho não seria o mesmo.

A todos os colegas de Mestrado, em especial ao Leandro, Sandra e Anarely. Obrigada por terem compartilhado ensinamentos e amizade.

Aos funcionários do ICA, Manuel e Ismael do Laboratório de Solos e à Sílvia a colaboração.

À Universidade Federal de Minas Gerais e ao Instituto de Ciências Agrárias a oportunidade de estudar.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsas de estudo.

Muito obrigada!

RESUMO

Atualmente, tem-se estimulado o uso de Sistemas Agroflorestais (SAF's) como uma alternativa de produção mais sustentável, manutenção da biodiversidade e recuperação de áreas degradadas. A presente pesquisa teve como objetivo avaliar os atributos microbiológicos dos solos de três SAF's e de suas respectivas áreas de vegetação nativa (VN) adjacentes, em duas estações do ano - seca e chuvosa. Os SAF's e suas respectivas VN adjacentes foram agrupados em dois grupos, em função da classe de solo, sendo um em Latossolo (SAF1, SAF2 e VN1) e outro em Gleissolo (SAF3 e VN2). Em cada SAF e VN, foram coletadas três amostras compostas de solo, na camada de 0 a 5 cm de profundidade para a determinação das análises químicas, granulométricas, carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), respiração basal do solo (RBS), quociente metabólico (qCO_2) e quociente microbiano (qMIC). A densidade aparente do solo da camada de 0-20 cm de profundidade foi obtida pela média de amostras coletadas na camada de 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm de profundidade. A avaliação da fertilidade do solo foi obtida pela amostragem da camada de 0-5 e 0-20 cm de profundidade. Em cada época de avaliação, foi determinado o efluxo de CO_2 do solo, por meio de um analisador de gás na faixa do infravermelho (IRGA) portátil. Para cada variável, foram calculados a média e o intervalo de confiança pelo teste t a 5% de probabilidade. A fertilidade dos solos dos SAF's e VN adjacentes foi semelhante e os maiores teores de nutrientes foram encontrados na camada 0-5 cm de profundidade. O manejo atribuído aos sistemas está contribuindo com a manutenção da densidade do solo, uma vez que os valores foram semelhantes em todas as profundidades avaliadas. Verificaram-se diferenças significativas para os teores e estoques de carbono (C) e nitrogênio (N) nos sistemas avaliados, o que evidencia que o manejo adotado nos SAF's tem contribuído para a estabilidade e o incremento dos estoques de C e N. O C-BMS e a RB foram maiores na época seca, enquanto que o efluxo de CO_2 e o qCO_2 foram maiores na época úmida. Os valores semelhantes dos atributos microbiológicos entre os sistemas avaliados indicam que os SAF's estão mantendo a atividade biológica do solo semelhantemente às áreas de vegetação nativa adjacentes.

Palavras-chave: Agroflorestas. Biomassa microbiana do solo. Cerrado.

ABSTRACT

Currently the use of Agroforestry Systems (AFS) has been stimulated as an alternative of more sustainable production, biodiversity conservation and recovery of degraded areas. The present study aimed to evaluate the soil microbiological attributes under three AFS and their respective areas of native vegetation (NV) in two seasons - dry and rainy. The AFS and NV were grouped into two groups according to the soil classification: Udox (AFS1, AFS2 and NV1) and Aqualfi (AFS3 and NV2). In each AFS and NV three composite soil samples were collected, in the layer of 0-5 cm depth for the determination of chemical and granulometric analyzes, total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN), Carbon of the Soil Microbial Biomass (SMB-C), basal respiration (BR), metabolic quotient (qCO_2) and microbial quotient (qMIC). The soil bulk density of the layer of 0-20 cm depth was obtained by averaging samples collected in the layers of 0-5, 5-10, 10-15 and 15-20 cm depth. The soil fertility evaluation was performed by sampling of the 0-5 and 0-20 cm soil depth. In each assessment time was determined the soil CO_2 efflux by a portable infrared gas analyzer (IRGA). For each variable was calculated the average and confidence interval for the test at 5% of probability. The soil fertility of the AFS was similar to VN and the highest nutrient contents were found in the layer of 0-5 cm depth. The management attributed to the systems is contributing to the maintenance of soil density, since the values were similar at all evaluated depths. There were no significant differences in the concentrations and stocks of carbon (C) and nitrogen (N) in the evaluated systems, which confirm that the management adopted in the AFS has contributed to the stability and increase of the stocks of C and N. The SMB-C and BR were higher in the dry season while the CO_2 efflux and qCO_2 were higher in the wet season. The similar values of the microbiological attributes among the evaluated systems indicate that AFS are keeping the soil biological activity similarly the areas of native vegetation.

Keywords: Agroforestry. Soil microbial biomass. Cerrado.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APP - Área de Preservação Permanente

CBM - Carbono da Biomassa Microbiana

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

COT - Carbono Orgânico Total

CT – Carbono Total

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ICA - Instituto de Ciências Agrárias

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MOS - Matéria Orgânica do Solo

qCO₂- Quociente Metabólico

qMIC- Quociente Microbiano

RAS - Respiração Acumulada do Solo

RBS - Respiração Basal do Solo

SAF's- Sistemas Agroflorestais

UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais

VN's- Vegetações Nativas

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Localização e detalhes do perímetro e rede hidrográfica do Projeto de Assentamento Agroextrativista Americana em Grão Mogol e a sua localização no estado de Minas Gerais. 35
- Figura 2 - Esboço dos sistemas agroflorestais e da vegetação nativa adjacente a cada área de estudo no Assentamento Agroextrativista Americana, Grão Mogol-MG. 36
- Gráfico 1 - Precipitação pluviométrica total e temperatura média obtidas pela Estação Meteorológica ICA/UFMG nos meses de janeiro a dezembro de 2013, Montes Claros-MG. 55
- Gráfico 2 - Médias da respiração basal do solo, efluxo de CO₂ do solo e da temperatura do solo nas épocas úmida e seca. 65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Família, espécie, número de indivíduos arbóreos lenhosos por hectare nos sistemas agroflorestais e vegetação nativa adjacente.....	38
Tabela 2 – Teores de areia, de silte, de argila e densidade aparente dos sistemas agroflorestais (SAF's) e das respectivas áreas de vegetação nativa adjacentes (VN's).....	42
Tabela 3 – Acidez e teores de nutrientes dos sistemas agroflorestais (SAF's) e das respectivas áreas de vegetação nativa adjacentes (VN's).....	43
Tabela 4 – Teores e estoques de carbono e nitrogênio e relação C:N dos sistemas agroflorestais (SAFs) e das respectivas áreas de vegetação nativa adjacentes(VNs).....	45
Tabela 5 – Fluxo de água e temperatura do solo dos sistemas agroflorestais e vegetações nativa.....	57
Tabela 6 – Intervalo de confiança das médias do carbono da biomassa microbiana (C-BMS), da respiração acumulada do solo (RAS), da respiração basal do solo (RBS), do efluxo de CO ₂ do solo (IRGA), do quociente metabólico (qCO ₂) e do quociente microbiano (qMIC), das amostras analisadas na camada de 0-5 cm do solo nos sistemas agroflorestais (SAF) e vegetação nativa (VN), nas duas épocas avaliadas, (n=15).....	60
Tabela 7 – Correlação de Pearson entre as variáveis efluxo de CO ₂ , fluxo de umidade e temperatura do solo nas épocas úmida e seca.....	66

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – REFERENCIAL TEÓRICO	12
INTRODUÇÃO GERAL	12
1 SISTEMAS AGROFLORESTAIS (SAF'S)	14
2 MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO (MOS)	18
2.1 Estoques de Carbono (C) e Nitrogênio (N)	19
3 INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO	21
3.1 Organismos e microrganismos do solo	22
3.2 Biomassa microbiana do solo (BMS)	24
3.3 Atividade respiratória do solo	26
3.3.1 Respiração basal do solo (RBS)	26
3.3.2 Efluxo de CO ₂ do solo	27
CAPÍTULO 2 - FERTILIDADE ESTOQUE DE CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS.....	31
INTRODUÇÃO	33
MATERIAL E MÉTODOS	34
RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
CONCLUSÃO.....	48
CAPÍTULO 3 - ATRIBUTOS MICROBIANOS DO SOLO SOB SISTEMAS AGROFLORESTAIS NO NORTE DE MINAS GERAIS	50
INTRODUÇÃO	52
MATERIAL E MÉTODOS.....	53
RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
CONCLUSÃO.....	66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67

CAPÍTULO 1 – REFERENCIAL TEÓRICO

INTRODUÇÃO GERAL

A região norte de Minas Gerais é caracterizada pela má distribuição das chuvas. A duração da estação seca pode ser superior a seis meses e a umidade relativa do ar pode atingir valores inferiores a 15%, principalmente nos meses de julho e agosto, o que restringe o uso das terras para a agricultura. Os principais biomas são Caatinga e Cerrado. Nas áreas de Caatinga, predominam solos eutróficos e nas de Cerrado solos distróficos e com elevada acidez trocável (EMBRAPA, 1979).

As principais atividades econômicas da região são a agricultura familiar, a pecuária de corte e o reflorestamento com eucalipto para a produção de carvão vegetal, com a finalidade de abastecer as siderúrgicas (IBGE, 2002).

Nos últimos anos, alguns agricultores familiares, na tentativa de buscar novas alternativas de geração de renda, passaram a adotar o uso de Sistemas Agroflorestais (SAF's) (NAIR, 2011). Os SAF's possuem uma importância social e econômica na redução do êxodo rural, aumento de mão-de-obra local, melhorias na distribuição de empregos ao longo do ano e melhores condições humanas promovidas pela diversidade de produção no campo (MACEDO, 2000).

Embora haja diversos tipos de sistemas agroflorestais, incluindo ampla faixa de número de espécies utilizadas, desenhos e manejos, a biodiversidade envolvida nesses sistemas de produção é sempre maior do que aquela existente nas monoculturas (SILVA, 2002).

Uma das estratégias utilizadas para avaliar possíveis alterações do solo em decorrência do tipo de uso e de técnicas de manejo é a comparação de atributos do solo cultivado em relação àquele sob vegetação natural (BARROS; COMERFORD, 2002; GAMA-RODRIGUES *et al.*, 2008).

O critério para o uso de um parâmetro como indicador de qualidade do solo é a sua capacidade de interferir nos processos ecológicos, integrar as propriedades físicas, químicas e biológicas, além de poder ser utilizado por especialistas, por técnicos e por agricultores. Nesse sentido, os microrganismos se enquadram nesses critérios, sendo considerados bioindicadores da qualidade do solo (DORAN; PARKIN, 1996).

A biomassa microbiana é considerada um indicador sensível aos impactos causados pelo manejo do solo (GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES; BARROS, 1997). Ela é usada em estudos de fluxos de carbono orgânico (C) e de nutrientes em vários ecossistemas terrestres (GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES; BARROS, 1997; GAMA-RODRIGUES *et al.*, 2008; JENKINSON; PARRY, 1989; PAUL; CLARK, 1989; ROSS *et al.*, 1995; VAN VEEN; LADD; FRISSEL, 1984), como também dos níveis de MOS e da qualidade do solo, auxiliando na orientação de mudanças das técnicas de manejo do solo (MELE; CARTER, 1993).

Além desses critérios, as avaliações das trocas gasosas do solo com a atmosfera são também consideradas parâmetros viáveis para avaliar a qualidade dos solos.

As emissões de dióxido de carbônico (CO₂) do solo dependem da sua atividade da biomassa microbiana e da respiração de raízes de plantas e, em escala global, constituem um importante componente do ciclo do carbono. A influência do uso da terra sobre as perdas de CO₂ do solo é significativa, o que resulta em diferenças entre sistemas com vegetação nativa e agroecossistemas sob intervenção humana (ROSCOE, 2006).

Dessa forma, é necessário um melhor entendimento dos indicadores de sustentabilidade de solos para verificar alterações no manejo em curto prazo em ecossistemas tropicais. Portanto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar os atributos biológicos de sistemas agroflorestais, comparando-os com vegetações nativas localizados no Assentamento Agroextrativista Americana, município de Grão de Mogol – MG.

1 SISTEMAS AGROFLORESTAIS (SAF'S)

Os Sistemas Agroflorestais (SAF's) são reconhecidamente modelos de exploração de solos que mais se aproximam ecologicamente da floresta natural e, por isso, considerados como importante alternativa de uso sustentado do ecossistema tropical úmido (ALMEIDA *et al.*, 2002; BRANDY *et al.*, 1994).

A importância da utilização dos SAF's fica mais evidente quando se constata a existência de extensas áreas improdutivas em consequência da degradação resultante, principalmente, da prática do cultivo itinerante, reconhecidamente uma modalidade de exploração não sustentável dos solos. A pecuarização é outra realidade na exploração de terras no Brasil, sendo, em geral, uma atividade resultante da implantação de grandes projetos, a qual promove a elevação do índice de desemprego e representa grande risco de degradação ambiental, principalmente pela falta de manejo adequado do solo (VILCAHUAMÁN; RIBASKI; MACHADO, 2006).

O Sistema Agroflorestal é uma opção interessante e bastante viável na escolha de modelos pelo pequeno produtor, pois as árvores sempre tiveram um papel importante na vida dos homens, tanto no fornecimento de produtos (madeira, mel, produtos medicinais), como de benefícios indiretos. Entre esses estão os de bem-estar e saúde pública como sombra, umidade do ar, temperatura e poluição atmosférica, proteção dos solos e dos mananciais, bem como outros benefícios sociais, como turismo e educação ambiental (ABDO; VALERI; MARTINS, 2008).

As árvores são excelentes sequestradoras de carbono, ao captarem o CO₂ atmosférico no processo de fotossíntese e mantendo esse carbono fixado por um longo período, já que a madeira é extraída após alguns anos quando podem ser empregadas na construção civil e fabricação de móveis (ABDO; VALERI; MARTINS, 2008). Os SAF's são sistemas sustentáveis, que consistem no uso do solo numa combinação espacial ou sequencial de espécies lenhosas perenes (arbustos ou árvores), que são cultivadas deliberadamente com espécies herbáceas (pasto, culturas anuais) e/ ou

animais, obtendo-se benefícios das interações ecológicas e econômicas resultantes (MACDICKEN; VERGARA, 1990; YOUNG, 1989).

Os SAF's têm sido amplamente promovidos como sistemas de produção agrícolas sustentáveis e, particularmente, atraentes para regiões subdesenvolvidas, onde o uso de insumos externos é pouco viável (BREMAN; KESSLER, 1997). De acordo com Viana (1992), um dos objetivos dos sistemas agroflorestais é conciliar o aumento da produtividade e da rentabilidade econômica com a proteção ambiental e a melhoria da qualidade de vida das populações rurais. Na implantação desse sistema, é necessário que o produtor rural tenha condições de adotar tecnologias simples e de baixo custo, apropriadas para o uso e para a conservação do solo, garantindo renda compatível ao investimento e o máximo de aproveitamento do conhecimento cultural da comunidade envolvida.

Os SAF's apresentam inúmeras vantagens que contribuem para o estabelecimento de modelos de produção mais estáveis e que podem amenizar as adversidades encontradas pela agropecuária, principalmente em regiões semiáridas. Esses sistemas proporcionam maior cobertura do solo, favorecem a preservação da fauna e da flora, promovem a ciclagem de nutrientes a partir da ação de sistemas radiculares diversos e propiciam um contínuo aporte de Matéria Orgânica do Solo (MOS) (ARAÚJO; ALBUQUERQUE; GUIMARÃES FILHO, 2001; BREMAN; KESSLER, 1997; SANCHEZ, 2001; SCHROTH *et al.*, 2002). Possibilitam, ainda, maior diversidade de produtos a ser explorada, o que alivia a sazonalidade, fenômeno comum no setor agropecuário (IZAC; SANCHEZ, 2001).

Resck *et al.* (1996) observaram melhoria da fertilidade do solo em SAF's no Cerrado, principalmente em virtude da maior produção de fitomassa. O aumento da biodiversidade e da MOS no sistema pode ser determinante na recuperação de áreas degradadas, pois a decomposição da serapilheira é um importante mecanismo de transferência de nutrientes ao solo e às raízes. A diversidade de espécies em um plantio misto proporciona, simultaneamente, melhor estruturação, maior aporte de carbono orgânico, maiores teores de nutrientes ao solo do que monocultivos agrícolas (GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES; BARROS, 1997).

Os SAF's, por apresentarem diversos componentes florestais e grande biodiversidade de espécies, propiciam maior deposição contínua de resíduos vegetais ao solo, de modo a facilitar a manutenção da matéria orgânica (OELBERMANN; VORONEY; GORDON, 2004; SMILEY; KROSCHEL, 2008) interferindo diretamente nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (DELABIE *et al.*, 2007; HUERTA *et al.*, 2007; NORGROVE *et al.*, 2009; SAHA *et al.*, 2001), como também proporcionam benefícios ambientais como a conservação da biodiversidade, sequestro de carbono e melhoria no controle de qualidade da água (MCNEELY; SCHROTH, 2006; NAIR, 2008; REITSMA *et al.*, 2001).

Iwata *et al.* (2012), estudando SAF's e seus efeitos sobre atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado Piauiense verificaram, dentre os sistemas estudados, que houve diminuição do Al^{3+} e aumento do pH do solo nos SAF's, principalmente no solo sob SAF com maior tempo de adoção, em detrimento da floresta nativa e agricultura de corte e queima. Segundo os autores isso pode estar relacionado com a maior disponibilidade de MOS.

Lima *et al.* (2010) relataram que maiores quantidades de N, P, K, Ca, Mg são encontradas nesses sistemas e que isso pode estar relacionado à alta atividade decompositora realizada pelos organismos do solo e por sua biota apresentar maior diversidade.

Silva, Sena e Silva Junior (2007) verificaram que a biomassa microbiana do solo em SAF's foi maior do que em sistemas convencionais e inferiram que a presença de plantas de diferentes espécies favoreceu o aumento da biomassa microbiana pelo aporte de resíduos orgânicos e por efeito rizosférico.

A serapilheira depositada ao solo nos SAF's tem papel fundamental no incremento da biomassa microbiana, por fornecer fontes de carbono e nutrientes, de forma que a sua eficiência pode estar relacionada ao tempo de adoção do sistema (ARAÚJO; MELO, 2012).

Além da melhoria na qualidade física, química e biológica do solo em SAF's, deve-se considerar também a avaliação econômica desses sistemas. Rodrigues *et al.* (2007) avaliaram a viabilidade econômica em sistemas

agroflorestais e verificaram que esses sistemas podem ser adotados na recuperação de áreas de Reserva Legal em propriedades rurais, gerando renda ao produtor. Concluíram que a sua maior ou menor viabilidade econômica dependerá do manejo adotado na área para a produção agrícola e de preços satisfatórios para venda no mercado.

Além de exercer influência sobre os aspectos sociais e econômicos, os SAF's possuem grande potencial para recuperação de agroecossistemas degradados. Por se aproximarem dos sistemas naturais, os SAF's podem ser uma alternativa de recuperação de áreas de preservação permanente (APP), conforme Resolução Conama N° 429, de 28 de fevereiro de 2011, que dispõe sobre a metodologia de recuperação de APP, conforme Resolução Conama N° 369, de 28 de março de 2006, que dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em APP e áreas de reserva legal, conforme a lei n° 12.727 de 17 de outubro de 2012.

A lei n° 12.854, de 26 de agosto de 2013, fomenta e incentiva ações que promovam a recuperação florestal e a implantação de sistemas agroflorestais em áreas rurais desapropriadas pelo Poder Público e em áreas degradadas em posse de agricultores familiares assentados, de quilombolas e de indígenas. Além disso, os SAF's atendem ao Artigo 5 da Constituição Federal de 1988, no que diz respeito à função social das propriedades rurais.

Uma das cobranças da sociedade em relação às mudanças de uso do solo para fins agrícola, principalmente em assentamentos da reforma agrária, que são viabilizados por recursos públicos, é a sustentabilidade das atividades agrícolas. Nos últimos anos, têm-se direcionado esforços para a minimização das emissões de gases de efeito estufa que contribuem para as mudanças climáticas e aquecimento do planeta (IPCC, 2007). Em países em desenvolvimento, como o Brasil, a maior fonte de emissão de gases de efeito estufa é a mudança do uso do solo para fins agrícola, principalmente a prática de queimada do solo (IPCC, 2007). Os (SAF's) são uma alternativa para diminuir os efeitos das atividades agrícolas para as mudanças climáticas, geração de renda e APP. O uso de SAF's como uma estratégia de implantação ou de manutenção da restauração ecológica, utilizando-se,

temporariamente, o espaço entre as mudas de nativa com culturas econômicas, pode auxiliar no controle de espécies competidoras, diminuindo os custos da restauração.

Apesar das vantagens anteriormente relacionadas e de o conceito de SAF's preconizar o manejo conservacionista do solo como pré-requisito básico de sua adoção (NAIR, 1993), são poucas as pesquisas, na região semiárida do Brasil, voltadas para a avaliação da potencialidade desses sistemas para a produção de alimentos e a melhoria da qualidade do solo. Portanto, o conhecimento das alterações em condições específicas de solo e clima é fundamental para o entendimento da potencialidade desses sistemas em relação à produtividade das culturas e na adoção de práticas no sentido de contornar possíveis limitações advindas da sua utilização (BAYER; MIELNICZUK, 1997).

2 MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO (MOS)

A matéria orgânica do solo é um importante indicador da qualidade do solo. Interage com aspectos físicos, químicos e biológicos do solo (LISBOA, 2009; MIELNICZUK, 1999; REEVES, 1997). A sua importância nas propriedades físicas baseia-se na participação como agente cimentante, na agregação do solo, de modo a influenciar diretamente na retenção de água, no arejamento, na penetração das raízes e na resistência à erosão (ARAÚJO; SANTOS; MONTEIRO, 2008; CRASWELL; LEFROY, 2001; JIAO; WHALEN; HENDERSHOT, 2006; SCHOLEN *et al.*, 1994). Em relação às propriedades químicas, a MOS é responsável por fornecer cargas negativas e reter cátions no solo, complexação de elementos tóxicos e de micronutrientes, fonte de carbono e energia aos microrganismos heterotróficos (WOLF; SNYDER, 2003).

A MOS é a principal característica indicadora da sustentabilidade de um sistema de cultivo (CANELLAS; SANTOS, 2005; CONCEIÇÃO *et al.*, 2005; STEVENSON, 1994), principalmente em solos tropicais (SOLOMON *et al.*, 2002).

O aumento da biodiversidade tem impacto positivo sobre o carbono orgânico do solo, e sistemas com maior biodiversidade apresentam sequestro de C mais elevado (LAL, 2004).

A desestruturação do solo é uma das consequências da diminuição da MOS. O uso de árvores beneficia o solo, protegendo-o contra o impacto direto de gotas de chuvas, manutenção do teor de MOS e melhoria das características do solo (YOUNG, 1997).

2.1 Estoques de Carbono (C) e Nitrogênio (N)

O Carbono (C) possui três reservatórios no planeta: o sistema terrestre, os oceanos e a atmosfera. Desses, o solo é o que apresenta maior fração desse elemento, em torno de 1500 Pg, no primeiro metro de profundidade, (BATJES, 1996; ESWARAN; VANDENBERG; REICH *et al.*, 1993), enquanto a atmosfera, 760 Pg (BATTLE *et al.*, 2000). Dessa forma, as alterações no equilíbrio do C entre solo-atmosfera são aproximadamente duas vezes mais sensíveis na atmosfera que no solo. Se 10% do C do solo forem mineralizados, representará um aumento de 20% de CO₂ para a atmosfera (PITOMBO, 2011). Assim, fazem-se necessários mais estudos para determinar formas de manejo que conservem o C no solo (LAL, 2008).

A importância do conhecimento dos estoques de carbono em diferentes classes de solos está ligada à tentativa de avaliar o que poderá ser perdido ou aportado, caso ocorram mudanças no uso da terra (LAL, 2004). Os estoques de C e N contidos nos solos podem ser modificados se a vegetação nativa for retirada para a conversão da área em sistemas agrícolas. De acordo com o sistema agrícola adotado, esses estoques podem aumentar, diminuir ou permanecer inalterados em comparação ao sistema natural (FRAZÃO, 2007).

Alguns estudos recentes têm evidenciado a redução de estoques de carbono em sistemas menos estáveis, como pastagem e plantio convencional, em relação a áreas de mata nativa ou ambientes similares, como sistemas agroflorestais (ALVES *et al.*, 2011; LIMA *et al.*, 2011; LOURENTE *et al.*, 2011).

Cardoso *et al.* (2010) verificaram que a conversão da floresta nativa em pastagem cultivada e a submissão da pastagem nativa em pastejo contínuo promoveram significativa redução nos estoques de C orgânico total e Carbono microbiano (Cmic) no solo.

Leite *et al.* (2010), trabalhando com efeitos do sistema plantio direto sob diferentes tempos de implantação e do preparo convencional sobre os atributos químicos e estoques de C de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado piauiense, verificaram que a implantação do sistema de plantio direto melhora os atributos químicos e aumenta o estoque de carbono orgânico total e microbiano do solo, até 20 cm de profundidade. Constataram, também, que o seu uso contínuo é uma alternativa sustentável para a melhoria da qualidade do solo.

Conforme Ferreira *et al.* (2007), o estoque de C total do solo foi menor para o sistema de plantio convencional, pois o preparo do solo quebra os seus agregados, disponibilizando substrato orgânico para a biomassa microbiana do solo, aumentando a taxa de decomposição e da comunidade microbiana e reduzindo os teores de MOS.

Nesse sentido, Drinkwater; Wagoner, Sarrantonio (1998) e Amado *et al.* (2001) sugerem que o uso de leguminosas, combinado com maior diversidade de espécies em sucessão ou rotação de culturas, aumenta, de forma significativa, a retenção de C e N no solo, com implicações importantes para o balanço desses elementos em escala regional e global e para a produção sustentável e a qualidade ambiental.

Por conseguinte, as perdas de C, em longo prazo, podem resultar em elevada degradação ambiental, uma vez que estão associados à MOS, os maiores reservatórios de nutrientes e energia nesses ecossistemas. O esgotamento dos estoques de matéria orgânica pode antecipar uma menor resistência dos ecossistemas e resultar em comprometimento da capacidade produtiva e menor oferta de serviços ambientais (CARDOSO *et al.*, 2010).

3 INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO

Atualmente, há uma maior preocupação com a qualidade do solo, na medida em que o seu uso e a mobilização intensiva podem diminuir a capacidade produtiva e a manutenção da população biológica sustentável (CARVALHO *et al.*, 2004).

Qualidade de um solo (QS) é a capacidade do solo em exercer as suas funções na natureza (DORAN, 1997), de modo a funcionar como meio para o crescimento das plantas; regular e compartimentalizar o fluxo de água no ambiente; estocar e promover a ciclagem de elementos na biosfera; e servir como tampão ambiental na formação, na atenuação e na degradação de compostos prejudiciais ao ambiente (KARLEN *et al.*, 1997; LARSON; PIERCE, 1994).

Como também QS é a base para o desenvolvimento da sustentabilidade agrícola (DORAN; ZEISS, 2000; WANG; GONG, 1998) de forma a produzir alimentos e fibras em um solo capaz de suprir as suas funções, em um processo de produção ambientalmente seguro e correto, economicamente viável, socialmente aceito e justo e culturalmente diverso (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

Conforme Santana e Bahia Filho (1998), a qualidade do solo pode ser mensurada pela avaliação de seus atributos físicos, químicos e biológicos. Entre esses, recomendam-se atributos ou indicadores que podem sofrer mudanças em curto e médio prazo, como a densidade, a porosidade, o estado de agregação e de compactação, o conteúdo de MOS e o nível de atividade biológica.

A MOS, o carbono orgânico total (COT), o pH, os teores de P, K, Ca, Mg, H+Al, o carbono da biomassa microbiana (CBM), a emissão de C-CO₂ pela respiração do solo, a umidade do solo, o quociente metabólico (qCO₂), a mesofauna e a macrofauna são atributos do solo com potencial para serem utilizados como indicadores da sua qualidade, assim como também para avaliar a biodiversidade, atividade biológica e a sustentabilidade dos sistemas (BARETTA, 2007).

Conforme Power *et al.* (1998), um adequado indicador de qualidade do solo deve compreender três dentre as várias características do solo, como a estrutura física, a qualidade nutricional, a quantidade de MOS, a atividade microbiana e a integração biológica da atividade dos organismos e da composição química e física.

Além disso, a fauna do solo é um reflexo das condições do solo, visto que a estrutura dos agregados, a quantidade de poros, o teor de MOS, a umidade e o teor de nutrientes determinam quais os grupos de organismos estarão presentes em determinado solo.

Assim, as mudanças na quantidade e diversidade de espécies de organismos do solo constituem um bom indicador de mudanças no sistema, e o conhecimento da fauna edáfica pode contribuir para a avaliação do grau de sustentabilidade de uma prática agrícola (CURRY; GOOD, 1992; FREITAS, 2007; LINDEN *et al.*, 1994).

3.1 Organismos e microrganismos do solo

Um solo, da mesma forma que uma floresta, é um ecossistema no qual milhares de espécies animais diferentes interagem e contribuem para que os ciclos globais tornem a vida possível. A heterogeneidade de substratos e condições ambientais encontradas em cada centímetro quadrado de solo provoca o aparecimento de uma grande diversidade de organismos que assimilam os materiais vegetais e animais, de modo a produzir o húmus, reciclar os nutrientes e o carbono mineral, bem como auxiliar no desenvolvimento das plantas (BRADY; WEIL, 2013).

Os organismos do solo podem ser classificados quanto ao tamanho dos seus componentes: a macrofauna, composta por organismos que possuem tamanho maior que 2 milímetros, como invertebrado artrópodes (formigas, aranhas, cupins, besouros), anelídeos (vermes), moluscos (caracóis e lesmas); a mesofauna, que compreende animais de tamanho entre 0,1 e 2 milímetros, como artrópodes (ácaros e colêmbolas), anelídeos (vermes enquitreídeos) e a microfauna, composta são organismos menores

que 0,1 milímetros, como nematoides, rotíferos, protozoários, bactérias e fungos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Os organismos do solo são tão importantes que a vida no planeta seria impossível sem eles. A própria formação do solo a partir de rochas é um processo mediado por microrganismos. Esses são responsáveis por processos de decomposição de resíduos orgânicos, na ciclagem de nutrientes e na formação de MOS, com consequente sequestro de carbono. Somem-se a esses a biorremediação de poluentes, a degradação de agrotóxicos, a formação das associações micorrízicas entre fungos e plantas e a fixação biológica do nitrogênio (FBN) por bactérias, entre outros (MENDES; REIS JUNIOR, 2010).

A decomposição de detritos orgânicos no solo é um processo biológico fundamental para o equilíbrio do ecossistema, onde o carbono é reciclado para a atmosfera na forma de CO₂. O nitrogênio se torna disponível como íons, amônio e nitrato, e outros elementos associados, como fósforo, enxofre e vários micronutrientes assumem formas inorgânicas e podem então ser absorvidos pelas plantas (ARAÚJO *et al.*, 2008; STEVENSON; COLE, 1999).

Os microrganismos são os principais agentes de atividades bioquímicas, já que se constituem em verdadeiros aparatos enzimáticos, sendo responsáveis por diversos mecanismos de síntese e degradação no solo, promovendo a mineralização de compostos orgânicos, a liberação de nutrientes e imobilizando-os em sua biomassa (ARAÚJO; SANTOS; MONTEIRO *et al.*, 2008; SEASTED; CROSSLEY, 1984).

Vários estudos têm levantado a hipótese de que a diversidade, a abundância da macrofauna invertebrada do solo e a presença de determinados grupos em um sistema podem ser usadas como indicadores da qualidade dos solos, visto que são bastante sensíveis à alteração da cobertura florestal do solo (BARROS *et al.*, 2003; FREITAS, 2007; LAVELLE *et al.*, 1994; PAOLETTI, 1999).

Em solos sob sistemas agroflorestais, as propriedades biológicas podem ser aprimoradas (UDAWATTA *et al.*, 2008; YADAV *et al.*, 2010; YAN *et al.*, 2000). A biomassa microbiana do solo e a sua diversidade são maiores em sistemas agroflorestais, em virtude do maior efeito rizosférico e da maior

decomposição de material orgânico ao solo. Além disso, a presença de uma comunidade microbiana do solo maior e diversificada é fundamental para a produtividade de qualquer agroecossistema (ARAÚJO *et al.*, 2012).

A multiplicidade de espécies de plantas em sistemas agroflorestais geralmente permite uma maior diversidade e abundância de fungos micorrízicos e maior eficiência na fixação biológica de nitrogênio, especialmente em solos tropicais (CARDOSO; KUYPER, 2006; FREITAS *et al.*, 2010; SERRAJ, 2004). Apesar dos vários benefícios dos microrganismos para o solo em práticas agroflorestais, mais pesquisas são necessárias para preencher lacunas do conhecimento, fundamentais para o entendimento e a melhoria da qualidade ambiental (LOVEALL; SULLIVAN, 2006; LOWRANCE *et al.*, 2002).

3.2 Biomassa microbiana do solo (BMS)

A biomassa microbiana do solo (BMS) é definida como a parte viva da MOS, incluindo bactérias, actinobactérias, fungos, protozoários, algas e microfaunas (SANTOS; CAMARGO, 1999). Ela contém, em média, de 2 a 5% do carbono orgânico do solo (JENKINSON; LADD, 1981) e de 1 a 5% do nitrogênio total do solo (SMITH; PAUL, 1990).

Segundo Deboz *et al.* (2002) e Trannin *et al.* (2007), a microbiota do solo é a principal responsável pela decomposição dos compostos orgânicos, pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia do solo. A BMS e sua atividade têm sido consideradas as características mais sensíveis às alterações na qualidade do solo, causadas por mudanças de uso e práticas de manejo, como as promovidas pela aplicação de resíduos orgânicos.

Dessa forma, a BMS representa um importante reservatório de nutrientes nos solos e um atributo fundamental para o estudo de ciclagem de nutrientes em diferentes ecossistemas (SANTOS; CAMARGO, 1999).

A manutenção da produtividade dos ecossistemas agrícolas e florestais depende, em grande parte, do processo de transformação da MOS e, por conseguinte, da BMS. Essa representa um importante componente ecológico, pois atua na decomposição e na mineralização de compostos

orgânicos no solo, imobilizando, temporariamente, C, N, P, Ca, Mg, S e micronutrientes liberados após a sua morte e decomposição, disponibilizando-os posteriormente às plantas (SANTOS; CAMARGO, 1999).

Algumas pesquisas evidenciam que os maiores valores de biomassa microbiana do solo são encontrados nos sistemas naturais, destacando-se os ambientes onde há um maior fluxo de resíduos. Em uma compilação de dados obtidos para solos brasileiros, observa-se que, para os sistemas naturais, foram registrados valores de C-BMS entre 101 e 1.520 mg C kg⁻¹ de solo, sendo que somente em ambientes com teores muito baixos de carbono orgânico total foram observados valores inferiores a 350 mg C kg⁻¹ de solo (ROSCOE *et al.*, 2006).

Neves *et al.* (2009), estudando o carbono da biomassa microbiana em Latossolo Vermelho distrófico em diferentes sistemas de manejo, concluíram que os teores deste parâmetro foram reduzidos em todos os sistemas estudados em relação ao cerrado nativo, em função da ação antrópica. Esses autores também concluíram que, com o progresso do sistema agrossilvipastoril, houve uma recuperação do C da BMS.

Estudos feitos por Silva *et al.* (2010), avaliando a atividade microbiana sob diferentes manejos, mostraram que maiores valores de BMS foram detectados no sistema de Cerrado nativo na camada 0-10 cm de profundidade, enquanto que menores valores foram encontrados no sistema de cultivo convencional de batata. De acordo com os autores, as condições mais favoráveis à microbiota do solo no Cerrado nativo estão relacionadas ao maior aporte contínuo e variado de substratos orgânicos provenientes da maior diversidade de espécies e aos diferentes graus de suscetibilidade à decomposição, corroborando Cardoso *et al.* (2009).

Perez *et al.* (2004) justificam que, nas condições de mata nativa, a maior deposição de resíduos orgânicos, a grande quantidade de raízes e a maior quantidade de água retida no solo estimulam a manutenção da microbiota do solo, enquanto solos submetidos à atividade agrícola costumam apresentar condições adversas, que, normalmente, determinam decréscimo da população microbiana.

Pesquisas relacionando teores de C e N microbianos em mata nativa e cultivo de café em sistema agroflorestal e a pleno sol mostraram que o sistema agroflorestal apresenta condições de atividade microbiana similares às encontradas em área de mata nativa, apresentando um potencial de ciclagem de C e N microbiano superior, quando comparado ao cultivo a pleno sol (ALMEIDA *et al.*, 2007).

Por fim, alterações significativas na BMS podem ser detectadas precocemente, quando comparadas às mudanças na MOS. Assim, a avaliação desse parâmetro tem sido proposta como um indicador do estado e das alterações da MOS e sugerida como uma medida sensível do aumento ou decréscimo de sua quantidade (TÓTOLA; CHAER, 2002). Seria possível adotar, pelo uso desse bioindicador, medidas de correção que evitassem perdas da MOS, componente essencial para a fertilidade dos solos brasileiros (ROSCOE *et al.*, 2006).

3.3 Atividade respiratória do solo

3.3.1 Respiração basal do solo (RBS)

O metabolismo microbiano é um dos principais processos reguladores da transformação de nutrientes no solo. Entre as formas de avaliação da atividade metabólica da microbiota do solo, destaca-se a quantificação de C pela liberação de CO₂, conhecida por respiração do solo (STOTZKY, 1965).

No processo de mineralização, ocorre intensa liberação de CO₂, que é o produto final do metabolismo microbiano quando esses utilizam resíduos vegetais como fonte energética para a manutenção da sua atividade vital. A quantidade do material energético determina a quantidade de CO₂ perdida e a taxa de evolução de CO₂ constitui-se como índice da atividade microbiana na decomposição da MOS nativa ou adicionada ao solo (DEMETRIO, 1988).

Os microrganismos são bastante dependentes da MOS, que, em resumo, é constituída pelos produtos da decomposição de resíduos de

origem animal e vegetal e pelos próprios microrganismos vivos (HERNANI, 2011).

A respiração basal do solo (RBS) é definida como a soma total de todas as funções metabólicas nas quais o CO_2 é produzido. Os fungos e as bactérias são os principais responsáveis pela maior liberação de CO_2 , via degradação da MOS. A RBS possui uma estreita relação com fatores abióticos do solo, como umidade, temperatura e aeração (ATLAS; BARTHA, 1993; STOTZKY; NORMAN, 1961).

A atividade microbiana do solo (C-CO_2) pode ser utilizada para entender os processos de mineralização e intensidade dos fluxos de energia (NANNIPIERI, 1984). Além disso, a respirometria permite monitorar a decomposição da MOS (ANDERSON, 2003), apresenta alta correlação com outros métodos de quantificação da atividade microbiana e se destaca pela simplicidade de execução, sendo utilizada para cálculos de outros indicadores importantes, como o quociente metabólico (qCO_2) (ANDERSON; DOMSCH, 2007).

De modo geral, os indicadores mais recomendados para a avaliação da qualidade do solo em função do seu uso e manejo são aqueles que respondem às variações ambientais e podem sofrer mudanças em curtos e médios prazos. Os atributos microbiológicos são eficientes indicadores de alterações nos atributos físicos, em função do manejo e do uso do solo (LOURENTE *et al.*, 2011).

Para análise qualitativa dos solos, os indicadores microbiológicos – como carbono da biomassa microbiana, respiração microbiana e quociente metabólico – têm sido frequentemente sugeridos como mais sensíveis aos impactos causados pelo manejo, tendo em vista que esses sistemas influenciam, constantemente, a atividade metabólica dos microrganismos do solo (ALVES *et al.*, 2011).

3.3.2 Efluxo de CO_2 do solo

O solo tem um papel importante no ciclo do C da Terra, já que armazena em torno de 3 a 4,5 vezes mais carbono do que toda a matéria

viva das plantas do planeta combinadas. O C entra no solo por meio das raízes das plantas e da MOS em decomposição, como folhas e galhos de árvores. Parte desse carbono volta logo para a atmosfera, mas uma parte mais significativa permanece no solo. Os fungos, bactérias e outros microrganismos que ajudam na decomposição do material orgânico são uma via significativa para que o carbono orgânico seja armazenado no solo (GOORE JR, 2011).

A MOS é um elemento chave para a qualidade do solo. Ela contribui para a geração de cargas (íons), para a complexação de metais tóxicos e micronutrientes, para a redução da fixação de fósforo e aumento do poder tampão, além de influenciar, diretamente, a capacidade de retenção de água no solo e a melhoria do estado de agregação, e interferir na quantidade e atividade dos componentes biológicos, como microrganismos e enzimas (DICK, 1994; HAYNES, 1984; KARLEN; STOTT, 1994; STEVENSON, 1994).

Em ecossistemas de vegetação natural há uma tendência para a preservação da MOS. Em contrapartida, ambientes de intenso uso agrícola, quase sempre, desencadeiam processos que levam à decomposição acelerada dos compostos orgânicos, resultando em perdas de carbono do solo, principalmente na forma de CO₂, para a atmosfera (SCHARPENSEEL, 1997).

As trocas gasosas entre o solo e a atmosfera são governadas pelos processos de difusão, um movimento do gás de uma zona de maior concentração para outra de menor concentração, e fluxo de massa, que ocorre quando o gás se move junto com o ar em que está misturado, em resposta a um gradiente de pressão (BALL; SIMTH, 1991). Quase todo CO₂ produzido no solo é conduzido à superfície, liberado pelo processo de difusão (KIMBALL; LEMON, 1971; LUNDEGARDH, 1927). Os principais fatores que afetam as emissões de CO₂ do solo para a atmosfera são a temperatura do ar e do solo e o teor de umidade do solo (ANDERSON, 1982; JANSSENS; KOWALSKI; CELEUMANS, 2001; ROSCOE *et al.*, 2006).

Costa *et al.* (2008), avaliando a emissão de CO₂ do solo em sistemas de plantio convencional (PC) e plantio direto (PD), verificaram que o plantio direto, associado a sistemas de cultura com alta adição de resíduos vegetais

ricos em C e N, resulta em balanço positivo de C no solo. Já o solo cultivado sob PC, independentemente da cultura utilizada, e o solo sob PD, associado a sistemas de cultura com baixo aporte de resíduos vegetais, apresentam balanço negativo de C. Esses autores ressaltam a importância do alto aporte de resíduos vegetais mesmo no sistema PD, quando se visa ao acúmulo de C orgânico no solo.

Estudos sobre preparo de solo relatam que, quanto maior a intensidade de revolvimento, maiores são as perdas de carbono para a atmosfera, por causa da liberação do CO₂ produzido previamente, por ação dos microrganismos decompositores sobre os resíduos orgânicos ou pela respiração do sistema radicular das plantas. A escolha de sistemas de preparo do solo, com nenhum ou reduzido revolvimento, representa uma maneira eficiente de atenuar as emissões CO₂ do solo (ROSCOE *et al.*, 2006).

D'Andréa *et al.* (2009), estudando as emissões diurnas de CO₂ do solo em parcelas experimentais de cafeeiro conduzido em plantio adensado e submetido ou não a operações de poda drástica (recepta), observaram que as maiores emissões de CO₂ foram encontradas no solo da parcela não submetidas à poda da parte aérea e menores emissões na parcela submetida à remoção da parte aérea. Segundo os autores, a remoção total da parte aérea provoca morte acentuada de parte do sistema radicular da planta, provocando um menor efeito rizosférico e alterações sensíveis sobre a microbiota do solo.

Segundo D'Andréa *et al.* (2009), a quantificação do teor de carbono da biomassa microbiana, em amostras de solos coletadas ao meio-dia, mostrou relação direta entre esse atributo e as emissões de CO₂ do solo. Isso indica, conforme os autores, que tanto a biologia do solo, quanto a fisiologia da planta devem ser levadas em consideração nos estudos sobre emissões de CO₂ do solo, por causa da atividade conjunta dos microrganismos e do sistema radicular das plantas.

Estudo relacionado aos aspectos ecofisiológicos com as emissões de CO₂ do solo mostrou a importância do metabolismo do carbono na planta. As emissões de CO₂ do solo em gramíneas, em parcelas submetidas a

condições de sombreamento, indicaram que a redução de 95% da intensidade luminosa provoca uma queda de 35 a 39% no efluxo de CO₂, independentemente de variações na temperatura do ar ou do solo. Nesse experimento, a roçagem das plantas a 2 cm da superfície do solo causou uma redução de 19% nas emissões de CO₂ do solo, indicando que a prática interfere no processo não só por causar alterações na biomassa do sistema radicular, mas também por alterar o fornecimento de carboidratos produzidos na parte aérea (CRAINE *et al.*, 2009).

Nos países em desenvolvimento, o fator que mais contribui para a emissão de CO₂ do compartimento terrestre para o atmosférico é o uso da terra. O entendimento sobre a dinâmica do CO₂ em função de mudanças no uso da terra ainda é considerado insuficiente e, apesar de fatores como a temperatura e umidade do solo serem tidos como os mais importantes para determinar as emissões de CO₂ do solo, pouco se sabe sobre as alterações de curto e longo prazo em solos tropicais submetidos ao uso agrícola (JANSSENS; KOWALSKI; CELEUMANS, 2001).

Novos estudos são importantes para compreender melhor a emissão de CO₂ para a atmosfera e o monitoramento da respiração do solo, bem como outros parâmetros que possam ter correlação com os mesmos, de modo a quantificá-los e relacioná-los. Além disso, podem-se verificar quais as interações físicas e químicas entre o solo, a vegetação e a atmosfera, e as suas consequências para o clima do globo quando se substituem as florestas por pastagens e culturas agrícolas. Assim, a quantificação direta do efluxo de carbono do solo no campo fornece a real emissão de CO₂ do solo e essa informação poderá ser utilizada para cálculos do sequestro de carbono dos ecossistemas e avaliação de sua sustentabilidade (PINTO-JUNIOR *et al.*, 2009).

CAPÍTULO 2 - FERTILIDADE ESTOQUE DE CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS

RESUMO

Os Sistemas Agroflorestais têm sido utilizados para proporcionar maior biodiversidade da fauna e da flora e conservação do carbono e nutrientes no solo. O objetivo desta pesquisa foi avaliar os estoques de carbono (C) e nitrogênio (N) na camada superficial do solo sob Sistemas Agroflorestais (SAF's) e das respectivas vegetações nativas adjacentes. Amostras de solo foram coletadas na camada de 0-5 cm de profundidade em dois sistemas agroflorestais implantados em uma área de Latossolo, por meio do manejo da vegetação nativa (SAF1 e SAF2) e em uma área de Gleissolo, cuja vegetação nativa foi totalmente suprimida e encontra-se em regeneração (SAF3). Como referência, foram amostradas duas áreas de vegetação nativa adjacentes, na área de Latossolo (VN1) e Gleissolo (VN2). O C e N totais foram determinados por combustão a seco no equipamento LECO CN 2000. A partir dos resultados de C e N totais, determinou-se a relação C:N e os estoques desses elementos. Na área de Latossolo, o SAF2 apresentou estoque de C semelhante a VN1. Por outro lado, o SAF2 e o SAF3 apresentaram estoques de C inferiores às suas respectivas áreas de vegetação nativa adjacentes. Quanto ao estoque de N não foram verificadas diferenças entre os SAF's e suas respectivas áreas de vegetação nativa adjacentes, porém o SAF3 e a VN2 apresentaram menores valores de relação C:N. Os SAF's implantados em áreas com maior número e diversidade de espécies arbóreas são mais eficientes na conservação do carbono no solo.

Palavras-Chave: Cerrado. Conservação de carbono. Relação C:N.

CHAPTER 2 - SOIL FERTILITY AND CARBON AND NITROGEN STOCKS UNDER AGROFORESTRY

ABSTRACT

The Agroforestry Systems have been used to provide greater biodiversity of the fauna and flora and conservation of carbon and nutrients in the soil. The aim of this study was to evaluate the carbon (C) and nitrogen (N) stocks in the surface soil layer on Agroforestry Systems (AFS) and their respective adjacent native vegetation. Soil samples were collected at the layer 0-5 cm depth in two agroforestry systems established in an area of Oxisol, through the management of the native vegetation (AFS1 and AFS2) and in an area of Gleysoil, whose native vegetation has been completely abolished and it has been found in regenerating (AFS3). As reference, two areas of adjacent native vegetation were sampled in the Udox area (NV1) and Aqualf (NV2). The C and N contents were determined by dry combustion in the equipment LECO CN2000. Based on the results of C and N contents, it was determined the C:N ratio and the stocks of these elements. In the area of Udox, the AFS2 presented C stocks similar to NV1. On the other hand, AFS2 and AFS3 showed C stocks lower than in the NV2. As regards the N stock, it was not verified differences among the SAF and its respective areas of adjacent of native vegetation, however, the AFS3 and the NV2 showed lower C:N ratios. The AFS installed in areas with the greatest number and diversity of tree species are more efficient in preserving the soil carbon.

Keywords: *Cerrado*. Carbon conservation. Ratio C: N.

INTRODUÇÃO

A sustentabilidade de agroecossistemas está diretamente relacionada à capacidade dos solos em manter os processos biológicos responsáveis pela ciclagem de nutrientes (CARVALHO; GOEDERT; ARMANDO *et al.*, 2004). Dessa forma, o desempenho de um sistema agroflorestral está relacionado à quantidade de nutrientes liberados durante o processo de decomposição do material orgânico aportado ao solo (MENDONÇA; STOTT, 2011).

Os Sistemas Agroflorestais (SAF's) apresentam inúmeras vantagens que contribuem para o estabelecimento de modelos de produção mais sustentáveis e que podem amenizar as adversidades das atividades agrícolas, principalmente em regiões semiáridas, que apresentam um longo período de estiagem. Os SAF's, em comparação ao sistema convencional de cultivo, proporcionam maior cobertura do solo, favorecem a preservação da fauna e da flora, promovem a ciclagem de nutrientes a partir da ação de sistemas radiculares diversos e propiciam um contínuo aporte de matéria orgânica (BREMAN; KESSLER, 1997; ARAÚJO *et al.*, 2006). Esses sistemas possibilitam, ainda, maior diversidade de produtos a serem explorados, o que alivia a sazonalidade, fenômeno comum no setor agropecuário (IZAC; SANCHEZ, 2001).

Os SAF's são ainda eficientes reservatórios de carbono (KIRBY; POTVIN, 2007; OELBERMANN; VORONEY; GORDON, *et al.*, 2004) e fontes renováveis de energia. O estrato herbáceo e a serapilheira funcionam como reguladores das condições térmicas no solo (CESTARO, 1988).

Diversos autores consideram o carbono orgânico do solo como um dos mais importantes indicadores de qualidade do solo e indicador de sustentabilidade (IWATA *et al.*, 2010). Em regiões tropicais, os SAF's são eficientes sequestradores de C, tanto pela alta produtividade de madeira quanto pelo significativo aumento do estoque no solo (ALBRECHT; KANDJI, 2003).

O carbono do solo é fonte de energia para a biomassa microbiana, que participa no armazenamento, na ciclagem de nutrientes e melhora as

propriedades físicas e químicas dos solos (IWATA *et al.*, 2010). As mudanças no conteúdo de C no solo comumente resultam em alterações concomitantes de N (CONANT *et al.*, 2005). De modo geral, a pouca disponibilidade de N no solo, associada à grande demanda pelas plantas, fazem desse nutriente um dos mais limitantes ao crescimento e ao desenvolvimento das plantas (SANTIAGO *et al.*, 2013).

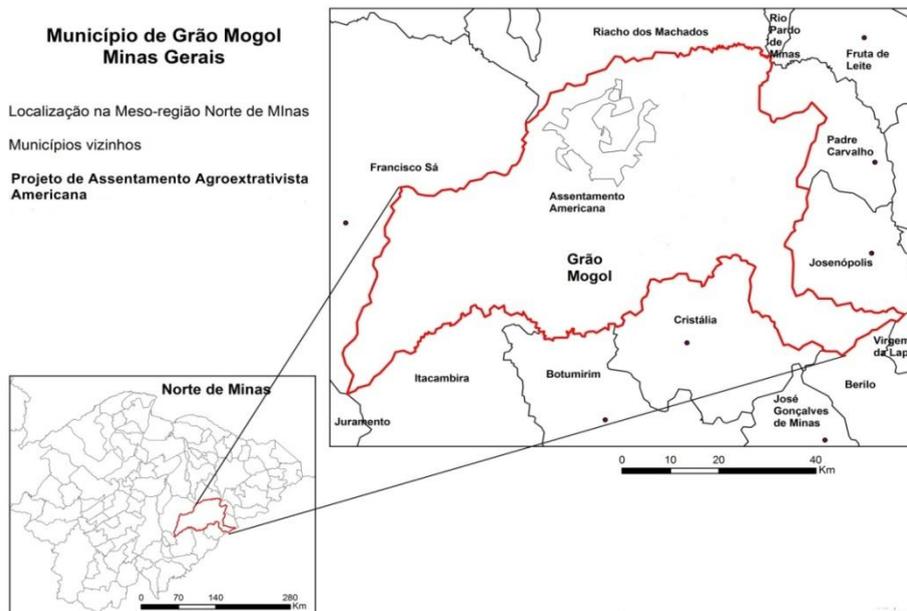
No solo, a proporção de C e N se estabiliza a uma relação C:N aproximada à dos microrganismos 10:1, já que esses assimilam a matéria orgânica para compor a sua biomassa e são os principais responsáveis pela ciclagem desses elementos no solo (PITOMBO, 2011).

Nesse sentido, esta pesquisa teve como objetivos avaliar os estoques de nutrientes C e N na camada superficial do solo sob Sistemas Agroflorestais (SAF's) e respectivas vegetações nativas adjacentes, em áreas de agricultores familiares localizadas no norte de Minas Gerais.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Assentamento Agroextrativista Americana, localizado no município de Grão Mogol, região norte do estado de Minas Gerais, nas coordenadas geográficas 16°17'55" S de latitude e 43°17'41" W de longitude, inserido no Bioma Cerrado. O assentamento abriga 75 famílias em uma área de aproximadamente 18 mil hectares. Na FIG. 1, estão representadas a área de estudo e a sua localização geográfica.

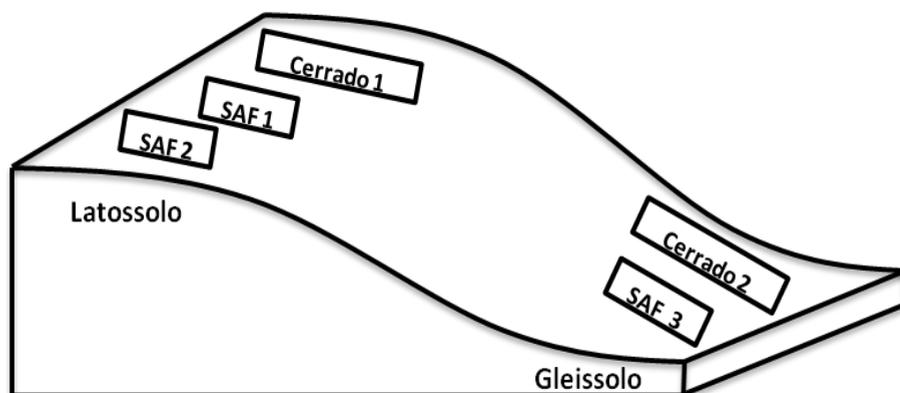
Figura 1 – Localização e detalhes do perímetro e rede hidrográfica do Projeto de Assentamento Agroextrativista Americana em Grão Mogol e a sua localização no estado de Minas Gerais



Fonte: ROCHA, 2013, p. 22.

No local de estudo, foram selecionados três Sistemas Agroflorestais (SAF's) distintos. Para a pesquisa foram considerados dois grupos de SAF's, em função da classe de solo. Duas áreas (SAF1 e SAF2) foram implantadas em 2003 em uma área de Cerrado Denso, localizado na meia encosta, relevo suave ondulado, em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, com área de aproximadamente um hectare (FIG. 2).

Figura 2 - Esboço dos sistemas agroflorestais e das vegetações nativas adjacentes no Assentamento Agroextrativista Americana, Grão Mogol - MG



Fonte: Da Autora.

Na implantação desses sistemas, foram preservadas as espécies vegetais nativas estratégicas, como melíferas, madeireiras, frutíferas e medicinais. As espécies arbóreas preservadas foram desbastadas e/ ou desramadas para possibilitar a entrada de luz e a introdução de espécies de interesse. O critério de seleção das espécies introduzidas foi em função da fertilidade natural do solo, tolerância ao estresse hídrico e aceitação no mercado local. A principal espécie introduzida foi o abacaxi (*Ananas comosus* L. Merrill) (ALVARENGA, 2013).

A terceira área (SAF3) foi implantada também em 2003, na mesma encosta dos SAF's 1 e 2, em uma área de Mata de Galeria, numa antiga várzea, relevo plano, em um GLEISSOLO HÁPLICO, com área de aproximadamente um hectare (FIG. 2).

No início da década de 1980, essa área foi drenada e a sua vegetação nativa, suprimida para cultivo. Durante os anos de cultivo não se fizeram usos de insumos químicos. Essa atividade ocorreu até o início da década de 1990, quando a área foi abandonada. Em 2003, quando foi introduzido o SAF 3, as espécies nativas predominantes eram: o araçazeiro (*Psidium firmum* O Berg.) e a goiabeira (*Psidium guajava*), que foram mantidas em função do interesse comercial de seus frutos. As duas espécies são secundárias e tem

grande capacidade de regeneração na área de estudo. Nesse sistema, a escolha das espécies introduzidas foi em função da tolerância à luminosidade e do tipo de solo. O manejo das espécies arbóreas é realizado por meio de desramas para aumentar a disponibilidade de luz no sistema e adicionar matéria orgânica ao solo (ALVARENGA, 2013).

A composição florística e o número de indivíduos arbóreos lenhosos com diâmetro maior que 5 cm medidos a altura de 1,3 metros de cada um dos sistemas estudados estão na (TABELA 1).

Tabela 1 – Família, espécie, número de indivíduos arbóreos lenhosos por hectare nos sistemas agroflorestais e vegetação nativa adjacente, no Assentamento Agroextrativista Americana, no município de Grão Mogol – MG

(Continua)

Família e espécie	Número de indivíduos por hectare				
	SAF1	SAF2	VN1	SAF3	VN2
Anacardiaceae					
<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott & Spreng.	100	100	20	-	-
<i>Lithraea molleoides</i> (Vell.) Engl.	-	-	80	-	420
<i>Mangifera indica</i> L.	80	20	-	-	-
<i>Tapirira guianensis</i> Albl.	-	-	-	-	20
Annonaceae					
<i>Annona crassiflora</i> Mart.	20	-	-	-	-
<i>Annona muricata</i> L.	20	-	-	-	-
Bignoniaceae					
<i>Handroanthus ochracea</i> (Cham.) Mattos	-	60	-	-	-
<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook. f. ex S. Moore	-	20	40	-	-
<i>Tabebuia roseo alba</i> (Ridl.) Sandwith	-	-	80	-	40
Bixaceae					
<i>Bixa orellana</i> L.	40	-	-	-	-
Bombacaceae					
<i>Eriotheca pubescens</i> (Mart. & Zucc.) Schott & Endl	-	-	60	-	-
Caricaceae					
<i>Carica papaya</i> L.	20	-	-	-	-
Combretaceae					
<i>Buchenavia tomentosa</i> Eichler	40	-	40	-	-
<i>Terminalia argentea</i> Mart.	-	20	-	-	-
Euphorbiaceae					
<i>Jatropha curcas</i> L.	20	-	-	-	-
Fabaceae					
<i>Acosmium dasycarpum</i> (Vogel) Yakole	80	-	-	-	-
<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth	-	20	-	-	-
<i>Dalbergia miscolobium</i> Benth.	-	20	-	-	-
<i>Hymenaea courbaril</i> (Hayne) Y.T. Lee & Langenh.	20	-	-	-	-
<i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart. Ex Hayne	20	-	-	-	-
<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) R. de Wit.	40	-	-	-	-
<i>Machaerium opacum</i> Vogel	60	-	100	-	-

Tabela 1 – Família, espécie, número de indivíduos arbóreos lenhosos por hectare nos sistemas agroflorestais e vegetação nativa adjacente, no Assentamento Agroextrativista Americana, no município de Grão Mogol – MG

Família e espécie	Número de indivíduos por hectare				
	SAF1	SAF2	VN1	SAF3	VN2
<i>Machaerium scleroxylon</i> Tul.	20	-	-	-	-
<i>Senna spectabilis</i> (W. Schrad.) H. S. Irwin & Barneby	-	-	-	-	20
Lamiaceae					
<i>Vitex montevidensis</i> Cham.	-	60	-	-	-
Loganiaceae					
<i>Strychnus pseudoquina</i> St. GH	20	-	-	-	-
Malpighiaceae					
<i>Malpighiae marginata</i> Sessé & Moc. ExDc.	20	-	-	-	-
<i>Byrsonima intermediata</i> A. Juss.	-	-	-	-	60
Moraceae					
<i>Brosimum gaudichaudii</i> Trécul	20	60	-	-	-
Musaceae					
<i>Musa paradisiaca</i> L.	80	-	-	-	-
Myrtaceae					
<i>Eugenia dysenterica</i> Mart. Ex DC.	40	40	40	-	-
<i>Psidium</i> sp.				-	20
<i>Psidium firmum</i> O Berg.				180	260
<i>Psidium gujjava</i> L.				260	-
Nyctaginaceae					
<i>Neea theifera</i> Oerst.	-	-	80	-	-
Palmaceae					
<i>Syagrus flexuosa</i> (Mart.) Becc.	40	-	360	-	-
Rubiaceae					
<i>Tocoyena brasiliensis</i> Mart.	-	-	20	-	-
Rutaceae					
<i>Citrus limon</i> (L.) Burm, f.	20	-	-	-	-
<i>Zanthoxylum riedelianum</i> Engl.	20	-	20	-	20
Sapindaceae					
<i>Magonia pubescens</i> A. St. – Hil	120	60	140	-	-
Tiliaceae					
<i>Luehea divaricata</i> Mart.	20	20	-	-	-
Vochysiaceae					
<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	-	60	40	-	-
<i>Qualea parviflora</i> Mart.	20	-	-	-	-
Total de indivíduos	1000	560	1120	440	860

Nota: SAF – Sistema Agroflorestal VN – Vegetação Nativa.

Fonte: ROCHA, 2013.

Para fins de comparação, foram avaliadas áreas de Vegetação Nativa (VN) adjacentes (Cerrado 1 e 2), como referência da condição original do solo (testemunha), denominadas de VN1 (para os SAF's 1 e 2) e VN2 (para o SAF3) (FIGURA 2).

Amostras de solo foram coletadas na camada 0-5 cm de profundidade, com uma enxada, para realizar as análises químicas e granulométricas. Nessa camada, há maior influência do material orgânico depositado na superfície do solo (serapilheira). Na camada de 0-20 cm de profundidade, a amostragem foi realizada com trado, para a avaliação da fertilidade dos solos. Para a determinação da densidade aparente, utilizou-se um cilindro de 5 cm de diâmetro por 5 cm de altura e as amostras foram coletadas nas camadas de 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm de profundidade. A densidade aparente da camada de 0-20 cm foi obtida pela média das densidades nas camadas amostradas.

Em cada sistema e profundidade avaliados foram coletadas três amostras compostas de solo no mês de março (16/03/13), época chuvosa e de temperaturas elevadas. As amostras foram armazenadas em geladeira a 7°C por 24 horas no Laboratório de Análise de Resíduos do Instituto de Ciências Agrárias da UFMG e, em seguida, procederam-se às análises.

As análises químicas para a avaliação da fertilidade, determinação das frações granulométricas e da densidade aparente do solo foram realizadas em duplicatas, conforme Embrapa (1997). Os teores de nitrogênio mineral (nitrato e amônio) foram determinados segundo metodologia de Alves *et al.* (1994).

A determinação dos teores de C orgânico total e de N total foi realizada em duplicatas, somente na camada de 0-5 cm de profundidade. As amostras de solo foram previamente secas ao ar, homogeneizadas, moídas e passadas em peneiras de 0,150 mm e, posteriormente, analisadas por combustão seca no equipamento LECO CN 2000.

Os estoques de C e N foram calculados pela multiplicação dos teores totais de cada elemento pela densidade aparente do solo na camada 0-5 cm de profundidade. A partir dos valores de teores de C e N, calculou-se a relação C:N.

Para cada variável, foram calculados a média e o intervalo de confiança pelo teste de t a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o triângulo textural de Atterberg, os solos dos Sistemas Agroflorestais 1 e 2 (SAF1 e SAF2) e de vegetação nativa adjacente (VN1), são enquadrados na classe textural franco argilo arenosa, enquanto os solos do SAF3 e da VN2 na classe textural argilo arenosa (TABELA 2). De acordo com a análise textural, o Gleissolo, onde estão o SAF3 e a VN2, apresenta teores de argila e silte ligeiramente maiores que o Latossolo, onde estão os SAFs 1 e 2 e a VN1 (TABELA 2).

Quanto à densidade do solo ou densidade aparente, os valores encontrados foram semelhantes entre as classes de solos, sistemas avaliados e camadas de solo amostradas (TABELA 2). A densidade aparente é uma das propriedades físicas do solo fortemente afetada pelo manejo (LEAL FILHO *et al.*, 2013). De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que o manejo dos SAF's não está afetando a densidade do solo, possivelmente por não fazer uso de mecanização.

A matéria orgânica depositada na superfície do solo pode alterar o arranjo das partículas primárias do solo e, conseqüentemente, a densidade do solo. Alvarenga (2013), trabalhando nessa mesma área e com os mesmos sistemas, verificou que, ao longo do ano, as quantidades de material orgânico (serapilheira) depositado na superfície do Latossolo foram maiores nos SAF1 (18.191 kg ha⁻¹ ano⁻¹) e SAF2 (24.904kg ha⁻¹ ano⁻¹) em relação a VN1 (15.803 kg ha⁻¹ ano⁻¹), enquanto que, no Gleissolo, a VN2 (19.269 kg ha⁻¹ ano⁻¹) depositou maiores quantidades de serapilheira que o SAF3 (15.037 kg ha⁻¹ ano⁻¹). Segundo a autora, as diferenças nas quantidades de material depositado estão relacionados à composição florística das áreas e ao manejo dos SAF's, por meio de podas.

Na Tabela 1 verificaram-se diferenças entre os SAF's e VN quanto ao número de indivíduos arbóreos e espécies, no entanto isso não afetou a

densidade do solo (TABELA 2). Apesar de haver um menor número de indivíduos e espécies arbóreas no SAF3 (TABELA 1) e menor deposição de material orgânico (ANDRADE, 2012), ao longo dos anos, o acúmulo de matéria orgânica, associada ao manejo do solo, tem contribuído para a manutenção dos valores de densidade do solo (TABELA 2) semelhantes ao da VN3.

Tabela 2 – Teores de areia, de silte, de argila e densidade aparente dos sistemas agroflorestais (SAF's) e das respectivas áreas de vegetação nativa adjacentes (VN's)

Sistemas	Prof. (cm)	-----g kg ⁻¹ -----			Densidade - kg dm ⁻³ -
		Areia	Silte	Argila	
SAF1	0-5	530±13*	140±21	330±14	1,13± 0,12
	0-20	520± 24	140± 32	340± 13	1,15± 0,10
SAF2	0-5	470±15	170±18	350±12	1,17± 0,13
	0-20	440± 11	180± 24	350± 16	1,16± 0,15
VN1	0-5	540±12	150±17	310±12	1,14± 0,15
	0-20	540± 10	160± 21	300± 17	1,15± 0,12
SAF3	0-5	410±13	230±21	370±22	1,15± 0,16
	0-20	420± 12	220± 18	370± 15	1,16± 0,16
VN2	0-5	400±15	230±25	370±25	1,14± 0,14
	0-20	380± 13	220± 19	400± 14	1,14± 0,17

Nota: * Intervalo de confiança pelo teste de t a 5% de probabilidade.

A fertilidade dos solos dos SAF's e das suas respectivas áreas de vegetação nativa, de modo geral, é semelhante, sendo os maiores teores de nutrientes verificados na camada 0-5 cm de profundidade (TABELA 3). A mineralização do material orgânico depositado na superfície dos solos certamente é a responsável pelos maiores teores de nutrientes na camada 0-5 cm de profundidade em relação à camada 0-20 cm, que é normalmente utilizada para fins de avaliação da fertilidade do solo.

Tabela 3 – Acidez e teores de nutrientes dos sistemas agroflorestais (SAF's) e das respectivas áreas de vegetação nativa adjacentes (VN's)

Sistemas	Prof. (cm)	pH água	Cálcio	Magnésio	Potássio	Alumínio
		----- mmol _c dm ⁻³ -----				
SAF1	0-5	5,3± 0,3*	63± 18	24± 11	3,5± 0,4	0
	0-20	5,8± 0,5	38± 14	17± 6	3,3± 1,2	0
SAF2	0-5	5,3± 0,2	58± 15	25± 8	4,2± 0,3	0
	0-20	5,7± 0,4	33± 12	16± 5	3,2± 0,9	0
VN1	0-5	5,1± 0,3	56± 18	35± 13	5,8± 0,5	0
	0-20	5,8± 0,6	46± 15	21± 9	3,2± 0,7	0
SAF3	0-5	5,3± 0,2	41± 12	31± 9	4,3± 0,3	1± 0,3
	0-20	5,8± 0,3	18± ± 4	11± 4	1,8± 0,5	1± 0,5
VN2	0-5	5,2± 0,2	41± 11	32± 8	12,8± 2,3	4± 0,1
	0-20	5,6± 0,3	23± 10	15± 3	2,2± 0,2	2± 0,2
Sistemas	Prof. (cm)	Fósforo	Enxofre	Boro	Zinco	N min.
		----- mg dm ⁻³ -----				
SAF1	0-5	0,8± 2,5	8,3± 1,3	0,5± 0,3	1,2± 0,8	47±11,7
	0-20	2,4± 0,6	3,4± 1,1	0,4± 0,3	1,3± 0,5	12±3,4
SAF2	0-5	1,7± 0,8	12,5± 2,5	0,6± 0,5	1,5± 0,9	45 ±15,1
	0-20	0,5± 0,4	5,7± 2,2	0,5± 0,2	1,4± 0,6	14±2,5
VN1	0-5	1,5± 0,5	12,2± 3,4	0,6± 0,5	1,6± 0,11	62 ±17,4
	0-20	0,3± 0,2	3,3± 0,8	0,8± 0,5	1,6± 0,7	14±32
SAF3	0-5	2,1± 0,4	10,7± 1,3	0,8± 0,6	1,0± 0,2	69 ± 13,0
	0-20	0,4± 0,3	4,5± 1,3	1,0± 0,4	0,9± 0,4	23±6,4
VN2	0-5	2,8± 0,3	13,4± 4,5	0,3± 0,4	0,9± 0,1	61 ± 15,7
	0-20	1,1± 0,5	2,4± 0,9	0,5± 0,3	0,4± 0,3	10±3,1

Nota: * Intervalo de confiança pelo teste de t a 5% de probabilidade.

A acidez ativa dos solos (pH) foi classificada como acidez média e os teores de Ca, Mg e K na camada 0-5 cm de profundidade foram considerados como muito bom, enquanto que, na camada 0-20 cm, variaram de médio a bom. Já o P e a acidez trocável (alumínio trocável), em todos os sistemas e camadas avaliadas, foram classificados como muito baixo (ALVAREZ; RIBEIRO; GUIMARÃES, 1999).

Os teores de S foram classificados como bom, na camada 0-5 cm e baixo a médio, na camada 0-20 cm de profundidade (ALVAREZ; RIBEIRO; GUIMARÃES, 1999). Os teores de nitrogênio mineral (nitrato e amônio) foram maiores na camada 0-5 cm. Esses resultados são semelhantes àqueles encontrados por Silva e Vale (2000), em solos das classes dos Latossolos e Gleissolos.

Os micronutrientes boro e zinco, independentemente da camada de solo amostrada, variaram de baixo a médio, segundo a classificação de Alvarez; Ribeiro; Guimarães (1999).

Para os teores e estoques de carbono (C), na camada 0-5 cm de profundidade, verificaram-se diferenças significativas entre os SAF's implantados sob o Latossolo (TABELA 4). Os teores e estoque de C do SAF2 foram semelhantes aos da VN1 e superiores aos do SAF1. Os maiores teores e estoques de C do solo provavelmente estão relacionados ao maior número e à diversidade de espécies arbóreas no SAF2 e na VN1 em relação ao SAF1 (TABELA 1).

Tabela 4 – Teores e estoques de carbono e de nitrogênio e relação C:N dos sistemas agroflorestais (SAF's) e das respectivas áreas de vegetação nativa adjacentes (VN's)

Sistemas	Carbono		Nitrogênio		Relação C:N
	Teor	Estoque	Teor	Estoque	
	- g kg ⁻¹ -	- Mg ha ⁻¹ -	- g kg ⁻¹ -	- Mg ha ⁻¹ -	
SAF1	62,70± 1,50	35,27± 0,85	4,18± 0,08	2,35± 0,05	14,99± 0,39
SAF2	64,73± 0,93	37,87± 0,72	4,18± 0,01	2,45± 0,08	15,47± 0,32
VN1	66,25± 0,31	37,76± 0,55	4,21± 0,09	2,40± 0,06	15,74± 0,25
SAF3	60,70± 0,61	34,75± 0,18	4,93± 0,05	2,82± 0,05	12,32± 0,24
VN2	68,43± 1,26	39,18± 0,35	5,41± 0,014	3,10± 0,03	12,66± 0,28

Nota: * Intervalo de confiança pelo teste de t a 5% de probabilidade.

Os resultados evidenciaram que o manejo utilizado no SAF2 tem contribuído para o incremento e a estabilidade do carbono no solo, em virtude do maior aporte de resíduos que o sistema recebe ao longo dos anos e baixa interferência antrópica. Vários trabalhos têm demonstrado o potencial desses sistemas na ciclagem de nutrientes, sobretudo no aumento dos teores de matéria orgânica do solo e seus componentes, como C, N e P (FRANZEL *et al.*, 2001; IWATTA *et al.*, 2012).

De acordo com Bochner *et al.* (2008) e Silva *et al.* (2012), os teores mais elevados de C em áreas florestadas se devem ao maior tempo de cobertura florestal e ao maior aporte de serapilheira. Corroborando o verificado para o SAF2 e VN1, Gama-Rodrigues *et al.* (2010) verificaram que o estoque de C do solo não diferiu entre os SAF's estudados e a floresta nativa, evidenciando, segundo esses autores, a importância dos SAF's para a manutenção e incremento do C no solo.

Na área do Gleissolo (TABELA 4), o SAF3 apresentou menores teores de estoque de C que a VN2. Esses resultados podem ser explicados pelo histórico da área do SAF3, que teve a vegetação nativa totalmente suprimida para o cultivo na década de 1980. Após abandonada, na década de 1990, as únicas duas espécies arbóreas que regeneraram foram o araçazeiro (*Psidium firmum* O Berg.) e a goiabeira (*Psidium guajava*) (TABELA 1).

O menor número de diversidade de espécies arbóreas, bem como o manejo, mantendo uma menor densidade de plantas para favorecer a entrada de luz no sistema para o cultivo de espécies anuais mais exigentes em luminosidade, como milho e feijão, certamente estão contribuindo para o menor estoque de C no SAF3 em relação a VN2.

A diminuição do estoque de C do SAF3 em relação a VN 2 pode ser também devido ao aumento no consumo do C prontamente disponível pela BMS e por meio da exportação de C pelas culturas anuais. Alvarenga (2013) trabalhando nessa mesma área e com os mesmos sistemas, verificou que a composição da serapilheira do SAF3 era mais rica em lignina e celulose que a da VN2.

Os resultados obtidos no presente estudo, corroboram o estudo de Iwatta *et al.* (2012), trabalhando em um SAF implantando em área cuja vegetação nativa foi cortada e queimada, observou que, após seis anos de implantação do sistema, o C do solo era inferior em relação ao da floresta natural. O autor correlacionou esses baixos teores as práticas de corte e queima que promovem grande liberação de C na forma de CO₂ para a atmosfera e perda de nutrientes. Além disso, as mudanças nos sistemas de manejo podem afetar os teores de C do solo pela alteração do aporte anual de resíduos vegetais e pela modificação na taxa de decomposição da MOS (LEITE *et al.*, 2003).

Outros estudos relatam teores mais elevados de C nos solos sob vegetação nativa ao maior aporte global de matéria orgânica, proveniente da deposição contínua e variada de substratos orgânicos com diferentes graus de suscetibilidade à decomposição, oriundos da vegetação nativa com maior diversidade de espécies (CARDOSO *et al.*, 2009; D'ANDRÉA *et al.*, 2002; PORTUGAL *et al.*, 2008). Alvarenga (2012) verificou, para os sistemas estudados, maior aporte de material orgânico nos SAF's 1 e 2 em relação à VN1 e maior aporte na VN2 em relação ao SAF3.

A presença do componente arbóreo nos SAF's favoreceu uma maior deposição de material vegetal ao solo (raízes, galhos,folhas), contribuindo para a melhoria da fertilidade do solo pelo processo de mineralização (CAMPANHA; SANTOS, 2007). Na presente pesquisa verificaram-se maiores

teores de nutrientes na camada superficial de 0 a 5 cm de profundidade (TABELA 3), indicando que, nessa camada, a mineralização do material orgânico depositado contribui mais para a melhoria da fertilidade do solo que na camada de 0 a 20 cm de profundidade, onde há uma diluição dos teores de nutrientes.

Quanto aos teores e aos estoques de N, na área do Latossolo, não houve diferenças significativas entre os SAF's 1 e 2 e a VN1 (TABELA 4). Por outro lado, na área do Gleissolo, o SAF3 apresentou menores teores e estoque de N total (TABELA 4). O menor número de espécies arbóreas do SAF3 em relação à VN2 e o manejo adotado atualmente podem explicar o menor estoque de N em relação a VN2.

Segundo Maia *et al.* (2008), sistemas mais conservacionistas, como os SAF's, que priorizam o aporte de resíduos orgânicos e a menor mobilização do solo, têm-se mostrado eficientes em manter e, às vezes, elevar os teores de N no solo.

Quando se comparam as classes de solo, verifica-se que os sistemas sob o Gleissolo (SAF3 e VN2) apresentam maiores teores e estoque de N que os sistemas sob o Latossolo (SAF's 1 e 2 e VN1) (TABELA 4). Esses resultados podem ser explicados pela composição química do material depositado, decorrente das espécies vegetais encontradas em cada sistema.

Segundo Pulrolnik *et al.* (2009), substratos orgânicos de decomposição rápida tendem a apresentar teores mais elevados de N do que aqueles de decomposição mais lenta, responsáveis pela conservação do C no solo. Iwatta *et al.* (2012) observaram teores superiores de N nos SAF's em detrimento da floresta nativa e inferiores em solos de agricultura convencional em virtude de perdas da matéria orgânica nesse sistema.

Para a relação C:N, não houve diferenças entre os SAF's 1 e 2 e a VN1 na área de Latossolo e, entre o SAF3 e a VN2, na área de Gleissolo (TABELA 4). Por outro lado, quando se comparam todas as áreas, as maiores relação C:N foram verificadas na área de Latossolo, possivelmente pela composição química do material depositado pelas espécies vegetais presentes.

A maior relação C:N contribui para uma menor taxa de mineralização da MOS e, conseqüentemente, conservação do estoque de C. Segundo Villatoro (2004), uma maior relação C:N indica maior permanência do material orgânico sobre o solo.

Além disso, no SAF3, como já dito anteriormente, são cultivadas várias espécies anuais, como leguminosas fixadoras de N₂ (feijões, favas), em razão do menor sombreamento e do menor número de indivíduos arbóreos (TABELA 1), que produzem restos culturais mais ricos em nitrogênio.

Lima *et al.* (2011), estudando dois SAF's, um com seis anos de implantação e o outro com dez anos de implantação, verificaram que ambas as áreas apresentaram teores de C e N maiores que os da floresta nativa. Segundo esses autores, o aumento nos estoques de C e N nos SAF's ressalta a eficiência do manejo agroflorestral para a melhoria da qualidade do solo.

A relação C:N é um indicador importante da decomposição da matéria orgânica do solo, informando sobre o estado de humificação e mobilização entre os nutrientes para a atividade dos microrganismos do solo (LUCHESE; FAVERO, LENZI, 2001; SANTOS, 2007). De acordo com Mello *et al.* (1983), em geral, a relação C:N da matéria orgânica do solo varia entre 10:1 e 12:1, podendo ser, ainda, menor ou maior, de acordo com o estado de decomposição desses componentes.

Assim, quanto maior o tempo de adoção de um SAF maior será a conservação da qualidade química do solo e maior o equilíbrio desse sistema, baseado na diversidade dos seus componentes e no arranjo estrutural que o aproxima de uma vegetação nativa (IWATTA *et al.*, 2012).

CONCLUSÃO

Os estoques de C e N foram alterados em sistemas agroflorestrais em virtude do manejo das espécies arbóreas e do cultivo de espécies anuais.

Solos sob SAF's, implantados com preservação e manutenção da diversidade arbórea, apresentam fertilidade, estoque de carbono e relação

C:N semelhantes à vegetação nativa, enquanto que a supressão da vegetação para implantação desses sistemas contribui para a redução da qualidade do solo representada por esses parâmetros.

CAPÍTULO 3 - ATRIBUTOS MICROBIANOS DO SOLO SOB SISTEMAS AGROFLORESTAIS NO NORTE DE MINAS GERAIS

RESUMO

A sustentabilidade dos agroecossistemas é importante para a manutenção da qualidade do solo ou para a sua melhoria, visando à produção agrícola e à preservação ambiental. Nesse sentido, os Sistemas Agroflorestais (SAF's) apresentam inúmeras vantagens que contribuem para o estabelecimento de modelos de produção mais estáveis e que podem amenizar as adversidades encontradas pela agropecuária, principalmente em regiões semiáridas. O objetivo desta pesquisa foi avaliar os atributos microbiológicos do solo de sistemas agroflorestais em comparação com áreas de Cerrado nativo em duas épocas do ano - seca e chuvosa. O estudo foi realizado no município de Grão Mogol-MG, em dois grupos de SAF's e em suas respectivas áreas de vegetação nativa adjacentes (VN), em função da classe de solo, sendo um em Latossolo (SAF1, SAF2 e VN1) e outro em Gleissolo (SAF3 e VN2). Em cada sistema, foram coletadas três amostras compostas na camada 0-5 cm de profundidade. No laboratório cada amostra foi dividida em cinco replicatas e armazenadas em geladeira à 7°C por 24 horas. Em seguida, avaliaram-se o carbono da biomassa microbiana do solo (BMS-C), o quociente metabólico (qCO_2), o quociente microbiano ($qMIC$), a respiração basal do solo (RBS) e o efluxo de CO_2 do solo. Os atributos microbiológicos do solo foram mais influenciados pela época do ano do que pelo sistemas agroflorestais. O carbono na biomassa microbiana e a respiração basal foram maiores na época seca, enquanto que o efluxo de CO_2 foi maior na época úmida. Os valores semelhantes dos atributos microbiológicos entre os sistemas avaliados indicam que os sistemas agroflorestais estão conseguindo incorporar carbono e manter a atividade biológica do solo semelhantemente às áreas de Cerrado nativo.

Palavras-chave: Biomassa microbiana do solo. Cerrado. Efluxo de CO_2 . Sistemas conservacionistas.

CHAPTER 3 - SOIL MICROBIAL ATTRIBUTES UNDER AGROFORESTRY SYSTEMS THE NORTH OF

ABSTRACT

The sustainability of the agroecosystems is important to maintain the soil quality, or in its improving, aiming to agricultural production and the environmental preservation. In this sense, Agroforestry Systems (AFS) have many advantages that contribute to the establishment of more stable production models and which can improve the needs found by agriculture, especially in semi-arid regions. The aim of this study was to evaluate the soil microbiological attributes of agroforestry systems compared to areas of native *Cerrado* in two seasons - rainy and dry. The study was conducted in the city of Grão Mogol-MG, in two groups of AFS and their respective areas of adjacent native vegetation (NV), due to the soil class with one in Udox (AFS1, AFS2 and NV1) and another in Aqualf (AFS3 and the NV2). In each system three composite samples were collected in the layer of 0 - 5 cm depth. In the laboratory, each sample was divided into five replicates and stored in a refrigerator at 7°C for 24 hours. Then, it was evaluated the carbon of soil microbial biomass (SMB-C), metabolic quotient (qCO_2), microbial quotient ($qMIC$), Basal Respiration (BR) and the soil CO_2 efflux. The microbiological attributes of the soil were more influenced by the season than by the AFS. The BMS-C and BR were higher in the dry season while the CO_2 efflux was higher in the wet season. The similar values of the microbiological attributes among the evaluated systems indicate that AFS are efficient to incorporate carbon and keep the soil biological activity similarly to the areas of native *Cerrado*.

Keywords: *Cerrado*. CO_2 efflux. Conservation systems. Soil microbial biomass.

INTRODUÇÃO

Os Sistemas Agroflorestais (SAF's) proporcionam ao solo a presença constante de cobertura vegetal e diversificação de espécies, podendo ser utilizados na recuperação de áreas degradadas. A diversificação de espécies vegetais melhoram as propriedades químicas e físicas do solo, diminui o consumo de insumos externos e aumenta a eficiência da unidade produtiva (ARAÚJO; MELO, 2012).

A presença de espécies arbóreas no sistema contribui para a ciclagem de nutrientes absorvidos das camadas mais profundas do solo pelas raízes e por meio da decomposição da serapilheira. Além disso, muitas espécies arbóreas fixam o nitrogênio atmosférico. Nesses sistemas, a serapilheira, além do fornecimento de nutrientes, tem papel fundamental na atividade dos organismos do solo e no estoque de C (ARAÚJO; MELO, 2012).

A quantificação da emissão de CO₂ pela microbiota é utilizada como indicadora da atividade microbiana e do estágio de decomposição em que se encontram os resíduos e a MOS, de maneira que o CO₂ é o resultado final do metabolismo energético dos microrganismos (WAGNER; WOLF, 2009).

A qualidade do material depositado determina a composição da serapilheira, que, por sua vez, influencia na velocidade de ciclagem dos nutrientes e nos atributos microbiológicos do solo (NAIR *et al.*, 2009). Em estudo comparando uma mata nativa com um SAF em um Cerrado piauiense, Iwatta *et al.* (2012) observaram que a biomassa microbiana e o C orgânico total não se diferiram entre os sistemas em todas as profundidades avaliadas.

A BMS é o principal componente da matéria orgânica e é a parte viva e mais ativa do solo e, junto com o C orgânico, é utilizada como indicador importante das alterações da qualidade do solo. O seu uso deve-se, principalmente, à sua relação com as funções ecológicas do ambiente, bem como à capacidade que ela apresenta de refletir as mudanças no uso do solo (ARAÚJO; MELO, 2010; JACKSON *et al.*, 2003; SILVA *et al.*, 2012).

Diversos estudos evidenciam que os SAF's aumentam a atividade da BMS do solo, por meio do incremento da diversidade vegetal, que

disponibiliza substratos com características variadas, que estimulam a microbiota do solo e melhoram os serviços ambientais (BALIEIRO *et al.*, 2004; DUBOC, 2009; NICODEMO; PRIMAVESI, 2007).

Pereira *et al.* (2008) observaram que os SAF's apresentam um quociente metabólico baixo e um quociente microbiano elevado, indicando boa utilização do carbono disponível e ótima capacidade do solo em estimular o crescimento microbiano.

A atividade microbiana e a respiração das raízes são as principais fontes de produção de dióxido de carbono (CO₂). A sua emissão é um componente importante do ciclo global do C (FANG; MONCRIEFF, 2009). Muitos trabalhos têm mostrado que a emissão de CO₂ do solo em sistemas conservacionistas é menor que na agricultura convencional, uma vez que o último sistema promove o revolvimento do solo. Com isso, além de expor camadas mais profundas, modifica os seus poros, liberando o gás carbônico, que contribui para aumentar o efeito estufa.

As trocas de CO₂ do solo com a atmosfera necessitam ser mais bem conhecidas a fim de se compreender os impactos das atividades agrícolas no estoque de C no solo, na atividade microbiana do solo e no ciclo global de C (FERNANDES *et al.*, 2002; VALENTINI *et al.*, 2008).

Diante do exposto, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar os atributos microbiológicos do solo sob sistemas agroflorestais e compará-los com áreas de Cerrado nativo em duas épocas do ano - seca e chuvosa.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Assentamento Agroextrativista Americana, localizado no município de Grão Mogol, região norte do estado de Minas Gerais, nas coordenadas geográficas 16°17'55" S de latitude e 43°17'41" W de longitude, inserido no Bioma Cerrado. O assentamento abriga 75 famílias em uma área de aproximadamente 18 mil hectares. Na Fig. 1 do capítulo 2, estão representadas a área de estudo e sua localização geográfica.

No local de estudo, foram selecionados três Sistemas Agroflorestais (SAF's) distintos, caracterizados no capítulo 2. Para a pesquisa foram considerados dois grupos de SAF's, em função da classe de solo. Dois dos Sistemas Agroflorestais (SAF1 e SAF2) foram implantados em 2003 em uma área de Cerrado denso, localizado na meia encosta, relevo suave ondulado, em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, com área de aproximadamente um hectare. O SAF3 foi implantado também em 2003, na mesma encosta dos SAF's 1 e 2, em uma área de Mata de Galeria, numa antiga várzea, relevo plano, em um GLEISSOLO HÁPLICO, com área de aproximadamente um hectare, ver Fig. 2 no capítulo 2.

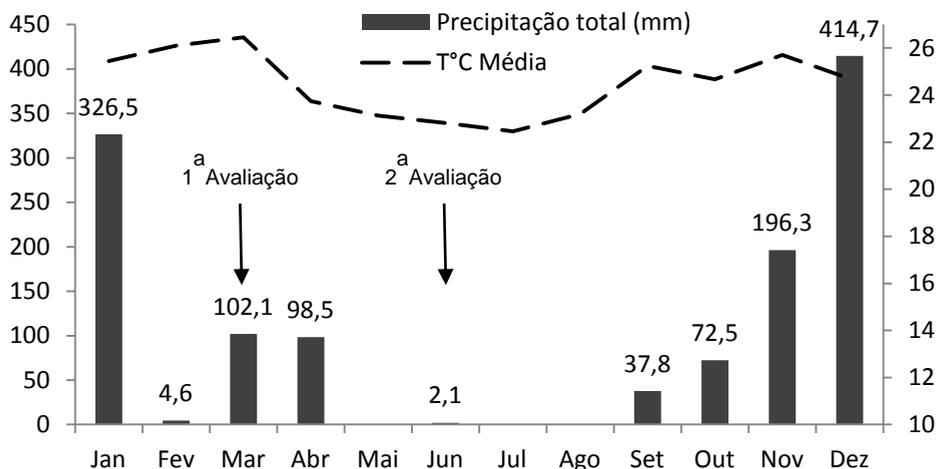
A composição florística e o número de indivíduos arbóreos lenhosos com diâmetro maior que 5 cm medidos à altura de 1,3 metros de cada um dos sistemas estudados estão na Tabela 1 do capítulo 2.

Para fins de comparação, foram avaliadas áreas de Vegetação Nativa (VN) adjacentes (Cerrado 1 e 2), como referência da condição original do solo (testemunha), denominadas de VN1 para os SAF's 1 e 2 e VN2 para o SAF3, ver Fig. 2 no capítulo 2.

Os SAF's e VN's foram avaliados em duas épocas distintas do ano: i) época 1 - mês de março (16/03/13), caracterizando o período chuvoso com temperatura do solo elevada; ii) época 2 - mês de junho (22/06/13), caracterizando o período seco com temperatura do solo baixa. Em cada área avaliada e em cada época de amostragem, foram coletadas três amostras compostas de solo na camada 0-5 cm de profundidade. No laboratório, cada amostra composta foi dividida em cinco subamostras, totalizando de 15 subamostras para cada sistema e armazenadas em geladeira a 7°C por 24 horas. Antes de iniciar as análises, a umidade das amostras foi ajustada a 60% da capacidade de campo.

O Gráfico 1 ilustra a precipitação total de chuvas de uma estação meteorológica próxima à cidade de Grão Mogol, durante o ano de 2013.

Gráfico 1 – Precipitação pluviométrica total e temperatura média obtidas pela Estação Meteorológica ICA/UFMG, nos meses de janeiro a dezembro de 2013, Montes Claros-MG



Fonte: Dados obtidos pelo INMET.

O carbono da biomassa microbiana foi determinado pelo método da Irradiação-extração. Para cada subamostra foram pesadas 10 gramas(g) em dois tubos de falcon, de forma que uma amostra foi não irradiada (NI) e outra foi irradiada (I) em forno de micro-ondas por dois minutos. Logo após, foram adicionadas cerca de 40 ml de K_2SO_4 nas amostras NI e I e as mesmas foram levadas para uma mesa agitadora por cerca de 30 minutos.

Após 24 horas, foram colocados em erlenmeyer uma solução contendo 5 ml do extrato I ou NI, 1 ml de $K_2Cr_2O_7$ ($0,066 \text{ Mol L}^{-1}$), 5 ml de H_2SO_4 (P.A.), 2,5 ml de H_3PO_4 (P.A.). Adicionaram-se três gotas de difenilamina ($(C_6H_5)_2NH$) a 1% (m/v) em H_2SO_4 e a titulação das amostras foi realizada com $[(NH_4)_2 Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O]$ a $0,033 \text{ Mol L}^{-1}$. A quantidade da solução de $[(NH_4)_2 Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O]$ gasta na bureta após atingir o ponto de equilíbrio estequiométrico foi anotada para o cálculo do Carbono da Biomassa Microbiana do Solo (C-BMS). A determinação da umidade foi realizada antes da irradiação com micro-ondas (SILVA *et al.*, 2007; VANCE *et al.*, 1987).

Nas subamostras foram realizadas a respiração microbiana do solo por meio do CO₂ evoluído e a extração com NaOH (JENKINSON; POWLSON, 1976). Aproximadamente 100 g de solo foram adicionados a um recipiente fechado, contendo um copo com cerca de 20 ml de NaOH. O CO₂ desprendido foi amostrado as 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168, 192 e 216 horas após a incubação do solo, substituindo o recipiente contendo a solução de NaOH a 0,5 mol L⁻¹ por outro com 20 ml da mesma solução ao final de cada avaliação. Para a análise, foi utilizado um erlenmeyer contendo uma solução de 5 ml de BaCl₂a0,5 Mol L⁻¹, 5 ml de NaOH após o período de incubação e três gotas de fenolftaleína (C₂₀H₁₄O₄) 1% (m/v). Em seguida, a solução foi titulada com HCl (P.A. 37%) a 0,25 Mol L⁻¹ e a quantidade de ácido gasta na bureta até atingir o ponto de equilíbrio estequiométrico foi anotada para o cálculo do CO₂ evoluído em cada avaliação. O cálculo da respiração basal do solo (RBS) foi obtido pela média dos valores de CO₂ evoluído nas três últimas avaliações, enquanto que a respiração acumulada do solo (RAS) foi determinada pela soma dos valores de CO₂ evoluído durante o período de avaliação.

O quociente metabólico (qCO₂) foi estimado pela relação entre RBS e o C-BMS (ANDERSON; DOMSCH, 2007; SILVA *et al.*, 2007), enquanto que o quociente microbiano (Cmic:Ctotal) foi estimado pela relação entre o C-BMS e o carbono total (ANDERSON; DOMSCH, 2007; SILVA *et al.*, 2007).

Para a avaliação do e fluxo de CO₂ do solo e fluxo de umidade" in loco", foi utilizado um analisador de gás por absorção na faixa do infravermelho (IRGA) modelo LCpro-sd, acoplado a uma campânula modelo ADC Soil Hood. Foram feitas medições dos e fluxos de CO₂ do solo nos períodos de 8, 11 e 13 horas, nas duas épocas distintas em cada SAF e VN. Em cada medição, esperaram-se cerca de cinco minutos para a avaliação e anotação dos dados obtidos pelo IRGA. A temperatura do solo foi medida por um termômetro de solo em cada SAF e VN e nas duas épocas de avaliação.

O fluxo de umidade e a temperatura do solo em cada época e em cada sistema estão na (TABELA 5).

Tabela 5 – Fluxo de umidade e temperatura do solo dos sistemas agroflorestais e vegetação nativa

		SAF 1	SAF 2	VN 1	SAF 3	VN 2
ÉPOCA 1	U	0,32	0,39	0,30	0,47	0,31
	T	25,16	23,63	23,46	25,8	22,5
ÉPOCA 2	U	0,08	0,13	0,08	0,11	0,16
	T	19,33	19,37	18,70	20,17	18,27

Notas: SAF – Sistema agroflorestal VN – Vegetação nativa U (Fluxo de Umidade) – $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ T (temperatura) -°C.

Para as variáveis estudadas, calcularam-se a média e o intervalo de confiança, utilizando o teste t de Student a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de C-BMS diferiram - se entre as épocas de avaliação e as áreas de estudo. Tanto nas áreas de Latossolo quanto de Gleissolo, os maiores valores foram observados na época seca (TABELA 6). Nessa época, houve baixo índice pluviométrico e as menores temperaturas na região (GRAFICO 1).

Silva *et al.* (2012) verificaram que o C-BMS, em floresta secundária em estágio inicial, foi maior na época seca que na época úmida e que o C-BMS em floresta secundária em estado avançado e médio não se diferiu, significativamente, entre a época úmida e seca.

Entretanto, Alves *et al.* (2011) encontraram valores de C-BMS maiores na época úmida, quando estudaram sistemas de integração lavoura pecuária, vegetação nativa e vegetação nativa em recuperação. O mesmo foi verificado por Gama-Rodrigues *et al.* (2005) e Silveira, Melloni e Melloni (2006), que observaram maiores valores de C-BMS em períodos chuvosos.

Moreira e Siqueira (2006) consideram os microrganismos do solo como aquáticos, por necessitarem de água para a absorção de nutrientes e integridade da superfície celular.

Nas áreas de Latossolo, na época úmida, os maiores valores de C-BMS foram observados na VN1, enquanto que, na época seca, os maiores valores foram encontrados no SAF1. Já para as áreas de Gleissolo, não houve diferença significativa entre o SAF3 e a VN2 para o C-BMS, tanto na época seca como na época úmida (TABELA 6).

O C-BMS representa o reservatório mais ativo e dinâmico do C orgânico do solo e de nutrientes, constituído basicamente por fungos, bactérias, actinomicetos, protozoários, algas e microfauna, excluindo-se raízes e animais menores que a $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$ (VANCE *et al.*, 1987). Segundo Jenkinson e Ladd (1981), em média, o C-BMS varia entre 2 a 5% do C orgânico total do solo, sendo influenciado pelas atividades dos microrganismos, pelo uso e pelo manejo dos solos. O conteúdo de C-BMS é um índice mais sensível às mudanças ocorridas no sistema, quando comparado aos conteúdos de C orgânico total do solo (GAMA-RODRIGUES *et al.*, 2005).

As pequenas diferenças de C-BMS observadas entre os SAF's e as respectivas áreas de vegetação nativa adjacentes (VN's) indicam que o manejo adotado nos SAF's tem contribuído igualmente para a atividade microbiana dos solos. Segundo Bandick e Dick (1999), Menezes (2008), Silva *et al.* (2010) e Silva *et al.* (2012), a maior biodiversidade vegetal, o manejo do solo (sem revolvimento) e da vegetação (com podas e capinas das plantas daninhas) são alguns dos fatores responsáveis por condições mais favoráveis à manutenção da biomassa microbiana do solo.

Esta pesquisa corroborou os resultados encontrados por Pezarico *et al.* (2013), quanto aos valores de C-BMS semelhantes entre dois sistemas agroflorestais e mata nativa. Segundo os autores, a ausência de revolvimento do solo em sistemas mais próximos das condições naturais, como os SAF's, resulta em maior efeito rizosférico e maior acumulação de material orgânico na superfície do solo, que são responsáveis pela maior diversidade da comunidade biológica.

A metodologia utilizada para obtenção do C-BMS na presente pesquisa, poderá ser utilizada em substituição aos métodos de fumigação-extração e fumigação-incubação, porém ensaios deverão ser realizados para

verificar as margens de aplicabilidade do método apresentado, principalmente, em solos com características químicas e físicas distintas e sob diferentes condições de manejo.

Tabela 6 – Intervalo de confiança das médias do carbono da biomassa microbiana (C-BMS), da respiração acumulada do solo (RAS), da respiração basal do solo (RBS), do efluxo de CO₂ do solo (IRGA), do quociente metabólico (qCO₂) e do quociente microbiano (qMIC), das amostras analisadas na camada de 0-5 cm do solo nos sistemas agroflorestais (SAF) e vegetação nativa (VN), nas duas épocas avaliadas, (n=15)

(Continua)

Variável	Época	Latossolo		
		SAF1	SAF2	VN1
C-BMS (mg C microbiano kg ⁻¹)	Úmida	369,55 ± 67,56*	285,29 ± 67,49	533,95 ± 38,46
	Seca	862,96 ± 118,34	693,36 ± 72,3	606,44 ± 64,17
RAS (mg C-CO ₂ kg ⁻¹ solo hora ⁻¹)	Úmida	1,03 ± 0,24*	0,65 ± 0,30	0,69 ± 0,26
	Seca	0,8 ± 0,39	0,93 ± 0,40	0,97 ± 0,38
RBS (mg C-CO ₂ kg ⁻¹ solo hora ⁻¹)	Úmida	0,08 ± 0,03*	0,12 ± 0,02	0,11 ± 0,02
	Seca	0,19 ± 0,06	0,19 ± 0,03	0,15 ± 0,05
Efluxo CO ₂ (μmol m ⁻² s ⁻¹)	Úmida	3,50 ± 1,40*	3,32 ± 1,38	2,69 ± 0,42
	Seca	1,18 ± 0,21	1,25 ± 0,27	0,85 ± 0,13
qCO ₂ (mg C-CO ₂ .g ⁻¹ C-BMS.h ⁻¹)	Úmida	0,23 ± 0,06**	0,43 ± 0,09	0,20 ± 0,05
	Seca	0,41 ± 0,07	0,23 ± 0,08	0,32 ± 0,03
C _{mic} :C _{total} (%)	Úmida	1,19 ± 0,28**	1,00 ± 0,48	1,12 ± 0,32
	Seca	1,34 ± 0,42	1,09 ± 0,30	1,36 ± 0,52

Notas: *e**Médias ± Intervalo de confiança pelo teste de t a 5% de probabilidade e Médias ± Desvio Padrão, respectivamente.

Tabela 6 – Intervalo de confiança das médias do carbono da biomassa microbiana (C-BMS), da respiração acumulada do solo (RAS), da respiração basal do solo (RBS), do efluxo de CO₂ do solo (IRGA), do quociente metabólico (qCO₂) e do quociente microbiano (qMIC), das amostras analisadas na camada de 0-5 cm do solo nos sistemas agroflorestais (SAF) e vegetação nativa (VN), nas duas épocas avaliadas, (n=15)

		(Conclusão)	
Variável	Época	Gleissolo	
		SAF3	VN2
C-BMS (mg C microbiano kg ⁻¹)	Úmida	175,80 ± 8,26*	231,93 ± 67,49
	Seca	486,47 ± 220,44	518,04 ± 95,45
RAS (mg C-CO ₂ kg ⁻¹ solo hora ⁻¹)	Úmida	0,72 ± 0,33*	1,17 ± 0,50
	Seca	1,0 ± 0,42	1,22 ± 0,42
RBS (mg C-CO ₂ kg ⁻¹ solo hora ⁻¹)	Úmida	0,12 ± 0,02*	0,16 ± 0,04
	Seca	0,18 ± 0,05	0,15 ± 0,06
Efluxo de CO ₂ (μmol m ⁻² s ⁻¹)	Úmida	2,75 ± 0,12*	3,54 ± 1,87
	Seca	0,49 ± 0,07	0,84 ± 0,06
qCO ₂ (mg C-CO ₂ .g ⁻¹ C-BMS.h ⁻¹)	Úmida	0,69 ± 0,18**	0,69 ± 0,31
	Seca	0,38 ± 0,12	0,61 ± 0,18
C _{mic} :C _{total} (%)	Úmida	1,20 ± 0,26**	1,19 ± 0,20
	Seca	1,02 ± 0,72	1,03 ± 0,86

Notas: *e**Médias ± Intervalo de Confiança pelo teste de t a 5% de probabilidade e Médias ± Desvio Padrão, respectivamente.

Para a RAS, não se observaram diferenças significativas entre as épocas de avaliação e sistemas estudados (TABELA 6), enquanto que, semelhantemente ao verificado para o C-BMS, os maiores valores de respiração basal ou carbono prontamente mineralizável, e fluxo de CO₂ e qCO₂ foram encontrados na época seca e, praticamente, não houve diferenças significativas entre os sistemas estudados (TABELA 6). A determinação da respiração basal tem sido utilizada para avaliar a atividade metabólica da população microbiana do solo, tanto de organismos aeróbios quanto anaeróbios (ALEF; NANNIPIERI, 1995).

Na presente pesquisa, essas variáveis analisadas foram mais sensíveis às variações de umidade e temperatura do que às mudanças de uso do solo. Os valores semelhantes de C-BMS, RAS e C-CO₂ liberado e de respiração basal entre os SAF's e as suas respectivas áreas de vegetação nativas adjacentes indicam que os SAF's estão conseguindo incorporar resíduos, com conseqüente acúmulo de matéria orgânica, em níveis que contribuem igualmente para uma alta biomassa e atividade biológica.

Em sistemas em que o uso do solo altera a dinâmica da MOS verificaram-se diferenças significativas nos atributos microbiológicos. Silva *et al.* (2012) observaram, em uma áreas de pastagem e em três fragmentos florestais, maiores valores de respiração basal do solo em comparação com áreas de cultivo com culturas anuais e perenes. De acordo com esses autores, os fatores responsáveis pela ciclagem de nutrientes e renovação de biomassa vegetal e microbiana podem ter promovido menores taxas de respiração nos solos sob cultivos anuais e perenes.

Segundo Islabão *et al.* (2012), a constante incorporação de resíduos e acúmulo de matéria orgânica elevam a biomassa microbiana e a atividade biológica, com conseqüente maior liberação de CO₂ no solo de áreas florestais. Por outro lado, Gama-Rodrigues *et al.* (2008), estudando atributos microbianos do solo sob diferentes coberturas vegetais, verificaram que as áreas de eucalipto e pastagem apresentaram maiores valores da respiração basal do solo do que áreas de floresta de Mata Atlântica em sucessão secundária (capoeira).

Para o quociente metabólico (qCO_2), foram verificadas diferenças significativas entre os sistemas e épocas de avaliação, sendo os maiores valores encontrados na época úmida no SAF2, SAF3 e VN2 (TABELA 6). Já para o quociente microbiano ($qMIC$), não foram verificadas diferenças significativas (TABELA 6). O qCO_2 e o $qMIC$ representam a combinação das medidas de carbono microbiano e respiração basal e indicam a eficiência da microbiomassa em utilizar o carbono disponível para biossíntese, sendo indicadores sensíveis para avaliar a atividade biológica e a qualidade dos solos (SAVIOZZI *et al.*, 2002).

Silva *et al.* (2012), ao estudarem áreas de florestas secundárias no estágio inicial, intermediário e avançado de regeneração, pastagem e agricultura, observaram maiores valores de qCO_2 na época úmida, em detrimento da época seca em todos os tratamentos.

Conforme Melloni *et al.* (2008) e Martins *et al.* (2010), maiores valores de qCO_2 indicam maiores perdas de carbono no sistema por unidade de biomassa microbiana e estão relacionados à resposta à mineralização da biomassa microbiana, ou seja, menores valores de qCO_2 e maior valor de C-BMS sugerem que a biomassa microbiana foi mais eficiente na utilização dos compostos orgânicos, liberando menos carbono, como CO_2 e incorporando mais aos tecidos microbianos.

Dessa forma, em relação à mineralização da biomassa microbiana, pode-se inferir que, em comparação às respectivas áreas de vegetação nativa adjacentes, os SAF's foram igualmente eficientes na utilização dos compostos orgânicos, incorporando mais C aos seus tecidos e liberando menos como CO_2 . Pode-se concluir, ainda, que a população microbiana dos solos das áreas de vegetação nativas e dos SAF's demandavam quantidades semelhantes de energia para se manterem, uma vez que não se diferiram significativamente quanto ao C-BMS e qCO_2 . Esses resultados indicam que os SAF's estudados podem reduzir a emissão de CO_2 ao longo do tempo, uma vez que são ambientes mais estáveis para a comunidade microbiana do solo.

Os valores de $qMIC$ encontrados são superiores a 1% em todos os sistemas estudados. De acordo com Jekinson e Ladd (1981), em condições

naturais, os valores de qMIC variam de 1 a 4 %. Também Pezarico *et al.* (2013), não encontraram diferenças significativas entre sistemas agroflorestais e mata nativa quanto ao qMIC. Segundo esses autores, a estabilidade desses sistemas favorece o incremento de matéria orgânica em quantidade e qualidade, beneficiando o desenvolvimento da comunidade microbiana do solo.

Para o efluxo de CO₂ do solo determinado "in loco", não foram verificadas diferenças significativas entre os sistemas. No entanto, em relação à época, observaram-se maiores valores de efluxo de CO₂ na época úmida tanto na área do Latossolo como na área do Gleissolo (TABELA 6). Isso pode ter ocorrido em virtude de que, na época chuvosa, os solos apresentaram temperaturas mais elevadas e maiores populações microbianas, o que pode ter favorecido a maior liberação de CO₂. Já em relação à época seca, em que o solo apresentava temperatura e umidade mais baixas, os menores valores de efluxo de CO₂ do solo podem ser explicados também pela menor difusividade do gás carbônico para a atmosfera nessas condições.

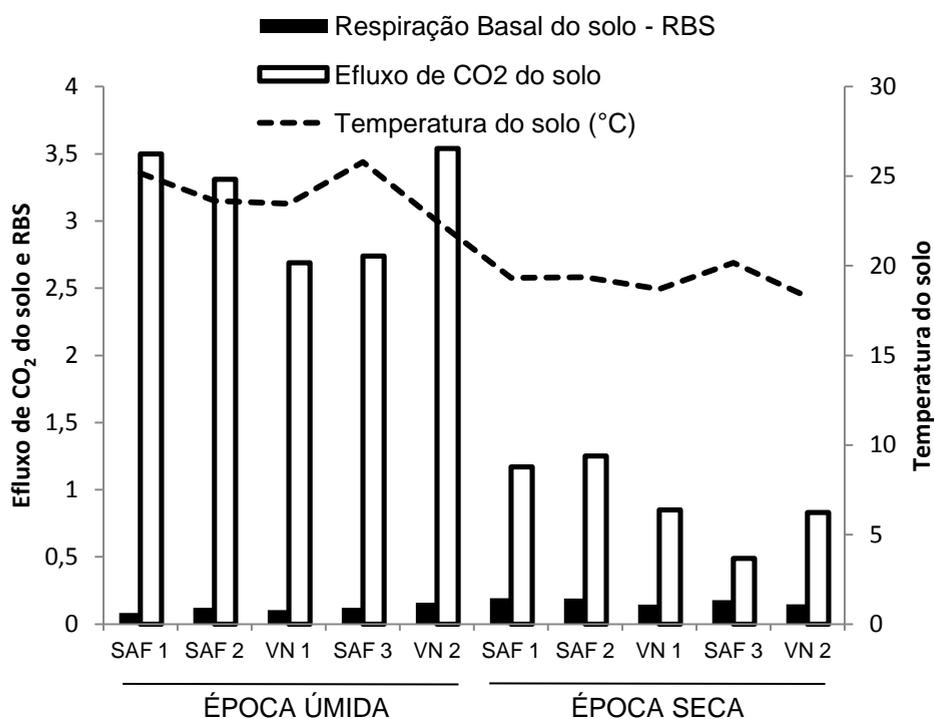
Corroborando os resultados obtidos no presente estudo, Fanget *al.* (1998) observaram, em plantações de *Pinus elliottii*, que o efluxo de CO₂ do solo foi menor no outono (temperaturas baixas) e maior no verão (temperaturas elevadas). Da mesma forma, Pinto-Junior *et al.* (2009), estudando Floresta de Transição Amazônica Cerrado, encontraram média de efluxo de CO₂ do solo em torno de $5,48 \pm 0,66 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, sendo os maiores valores no período de transição entre o período seco e o chuvoso.

O efluxo de CO₂ do solo ou respiração do solo representa o C emitido pelas raízes, pela atividade microbiana e pela oxidação da matéria orgânica, sendo a sua determinação importante para o balanço de CO₂ na atmosfera (DAVIDSON; SAVAGE; VERCHOT *et al.*, 2002). Portanto, o efluxo de CO₂ está relacionado não somente a fatores ambientais, como temperatura e umidade, mas também ao uso e ao manejo do solo.

Verificou-se correlação positiva entre efluxo de CO₂ com a temperatura e a umidade do solo (TABELA 7). Tanto a temperatura e quanto a umidade do solo podem influenciar no processo de respiração do solo, além da

participação das comunidades microbianas, sendo esse dependente da variabilidade temporal e espacial dessas variáveis, como pode ser observado no Gráfico 2. Os resultados encontrados nesta pesquisa, corroboram os trabalhos realizados por Bekku *et al.*, 2003 e Valentini, 2008, uma vez que mostram um aumento exponencial ou linear da taxa de respiração em função do aumento da temperatura.

Gráfico 2 – Médias da respiração basal do solo ($\text{mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ solo hora}^{-1}$), efluxo de CO_2 do solo ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e da temperatura do solo nas épocas úmida e seca



Fonte: Da Autora

Tabela 7 – Correlação de Pearson entre as variáveis efluxo de CO₂ ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), fluxo de umidade ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e temperatura do solo nas épocas úmida e seca

	Época Úmida				
	SAF1	SAF2	VN1	SAF3	VN2
Fluxo de Umidade	0,93**	0,97**	0,36ns	0,96**	0,98**
Temperatura (°C)	0,94**	0,72*	0,60ns	0,96**	0,84*
	Época Seca				
	SAF1	SAF2	VN1	SAF3	VN2
Fluxo de Umidade	0,22ns	0,99**	-0,55ns	0,77*	-0,55ns
Temperatura (°C)	0,99**	0,30ns	0,14ns	0,92**	-0,51ns

Notas: **, * e ns Significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente.

CONCLUSÃO

Os atributos microbiológicos do solo foram influenciados mais fortemente pela época do ano do que pelos sistemas agroflorestais implantados. Os valores semelhantes dos atributos microbiológicos entre os sistemas avaliados indicam que os SAF's estão conseguindo incorporar C e manter a atividade biológica do solo, semelhantemente às áreas com vegetação nativa.

REFERÊNCIAS

ABDO, M. T. V. N.; VALERI, S. V.; MARTINS, A. L. M. Sistemas agroflorestais e agricultura familiar: uma parceria interessante. **Revista Tecnologia e Inovação Agropecuária**, v. 1, n. 4-5, p. 50-59, 2008.

ALBRECHT, A.; KANDJI, S. T. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 99, n. 1, p. 15-27, 2003.

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Ed.). **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, 1995. 576p.

ALMEIDA, C. M. V. C.; MÜLLER, M. W.; SENA-GOMES, A. R.; MATOS, P. G. G. Pesquisa em sistemas agroflorestais e agricultura sustentável: manejo do sistema. Workshop Latino-americano sobre Pesquisa de Cacau, Ilhéus, Bahia, **Anais...** 2002.

ALMEIDA, E. F.; POLIZEL, R. H. P.; GOMES, L. C.; XAVIER, F. A. S.; MENDONÇA, E. S. Biomassa microbiana em sistema agroflorestal na zona da mata mineira. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 2, out. 2007.

ALTAS, R. M.; BARTHA, R. **Microbial ecology: Fundamentals and applications**. 3rd ed. New York, The Benjamin-Cummings Publishing Company, 1993. 563p.

ALVARENGA, A.C. **Produção e qualidade de serapilheira e aporte de nutrientes em sistemas agroflorestais de agricultores familiares do norte de minas gerais**. 2013. 70f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias)–Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2013.

ALVARES V. V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: ALVARES V. V. H.; RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G. (Org.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a. Aproximação**. 5. ed. Viçosa, Minas Gerais: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 25-32.

ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; SANTOS, J. C. F. Determinação do nitrogênio em solo e planta. In: **Manual de Métodos Empregados em Estudos de Microbiologia Agrícola**. Embrapa 1994. Cap. 23. p. 458-467. Acesso em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAF/8927/1/doc_46.pdf>.

ALVES, T. S.; CAMPOS, L. L.; ELIAS NETO, N.; MATSUOKA, M.; LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá v. 33, n. 2, p. 341-347, 2011. Acesso em: <<http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v33i2.484>>. Acesso em: 12 jan. 2014.

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. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, n. 25, p. 189-197, 2001.

ANDERSON, J. P. Soil respiration. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2nd ed. Madison: USA: Soil Science Society of America, 1982. pt. 2, p. 831-871. (ASA. Agronomy, 9, Part 2: Chemical and microbiological properties).

ANDERSON, T. H. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. **Agriculture, Ecosystems and Environment, Amsterdam**, v. 98, p. 285-293, 2003.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. In: SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico (qCO_2) do solo. **Comunicado Técnico 99**, Seropédica, RJ, 2007. ISSN 1517-8862. Acesso em: <www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/6275777/1/cot099.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2014.

ARAUJO, A. D. F.; LEITE, L. F. C.; IWATA, B. F.; LIRA JR, M. A.; XAVIER, G. R.; FIGUEIREDO, M. V. B. Microbiological process in agroforestry systems. A review. **Agron Sustain**, v. 32, p. 215-226, 2012.

ARAÚJO, A. S. F.; MELO, W. J. Soil microbial biomass in organic farming system. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 11, p. 2419-2426, 2010.

ARAÚJO, A. S. F.; LEITE, L. F. C.; NUNES, L. A. P. L.; CARNEIRO, R. F. V. (Ed.). **Matéria orgânica e organismos do solo**. EDUFPI, 2008. 220p.

ARAÚJO, A. S. F.; MELO, W. J. **Biomassa Microbiana do Solo**. Universidade Federal do Piauí, Teresinha, 2012. 150p.

ARAÚJO, A. S. F.; SANTOS, B. B.; MONTEIRO, R. T. R. Responses of soil microbial biomass and activity for practices of organic and conventional

farming systems in Piauí state, Brazil. **European Journal of Soil Biology**, v. 44, n. 2, p. 225-230, 2008.

ARAÚJO, G. G. L.; ALBUQUERQUE, S. G.; FILHO, C. G. Opções no uso de forrageiras arbustivo-arbóreas na alimentação animal no semi-árido do nordeste. In: 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 semi-árido cearense. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 5, set./out. 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622006000500018>>. Acesso em: 10 set. 2014.

ARAÚJO, G. G. L.; ALBUQUERQUE, S. G.; GUIMARÃES FILHO, C. Opções no uso de forrageiras arbustivo-arbóreas na alimentação animal no semiárido do nordeste. In: CARVALHO, M. M.; ALVIM, M.; CARNEIRO, J. C. **Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais**. Juiz de Fora, Embrapa Gado e Leite, p. 111-137, 2001.

BALIEIRO, F. C.; FRANCO, A. A.; DIAS, P. F.; SOUTO, S. M.; CAMPELLO, E. F. C. Sistemas agrossilvipastoris: a importância das leguminosas arbóreas para as pastagens na região centro-sul. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41., 2004, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: SBZ, 2004.

BALL, B. C.; SMITH, K. A. Gas movement. In: SMITH, K.; MULLINS, C. (Ed.). **Soil analysis: physical methods**. New York: Marcel Dekker, 1991. p. 511-549.

BANDICK, A. K.; DICK, R. P. Field management effects on soil enzyme activities. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 31, n.11, p. 1471-1479, 1999.

BANDY, D.; GARRATY, D. P.; SANCHES, P. El problema mundial de la agricultura de tala y quema. **Agroforesteria en las Americas**, v. 1, n. 3, p. 14-20, 1994.

BARETTA, D. **Fauna do solo e outros atributos edáficos como indicadores da qualidade ambiental em áreas com Araucária Angustifólia no Estado de São Paulo**. Piracicaba (Tese Doutorado)—Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, São Paulo, 2007. 158p.

BARROS, E.; NEVES, A.; BLANCHART, E.; FERNANDES, E. C.; WANDELLI, E.; LAVELLE, P. Development of the soil macrofauna community under silvopastoral and agrosilvicultural systems in Amazonia. **Pedobiologia**, v. 47, n. 3, p. 273-280, 2003.

BARROS, N. F.; COMERFORD, N. B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. (Ed.). Tópicos em ciência do solo. **Sociedade Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, p. 487-592, 2002. Disponível em: <<http://www.sbc.org.br/>>. Acesso em: 10 set. 2014.

BATJES, N. H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. **European Journal of Soil Science**, v. 47, n. 2, p. 151-163, 1996.

BATTLE, M.; BENDER, M. L.; TANS, P. P.; WHITE, J. W. C.; ELLIS, J. T.; CONWAY, T.; FRANCEY, R. J. Global carbon sinks and their variability inferred from atmospheric O-2 and delta C-13. **Science**, v. 287, n. 5462, p. 2467-2470, 2000.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 105-112, 1997.

BEKKU, Y. S.; NAKATSUBO T.; KUME, A.; ADACHI, M.; KOIZUMI, H. Effect of warming on the temperature dependence of soil respiration rate in arctic, temperate and tropical soils. **Applied Soil Ecology**, v. 22, p. 205-210, 2003.

BOCHNER, J. K.; FERNANDES, M. M.; PEREIRA, M. G.; BALIEIRO, F. C.; SANTANA, I. K. S. Matéria orgânica e agregação de um planossolo sob diferentes coberturas florestais. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 1, p. 46-53, 2008. Disponível em: <http://www.dcf.ufla.br/cerne/artigos/10-02-20096223v14_n1_artigo%2006.pdf>. Acesso em: 10 set. 2014.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Tradução técnica delgo Fernando Lepsch. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 686p.

BRASIL. Congresso Nacional. Lei nº 12.854, de 26 de agosto de 2013. Fomenta e incentiva ações que promovam a recuperação florestal e a implantação de sistemas agroflorestais em áreas rurais desapropriadas e em áreas degradadas, nos casos que especifica. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 26 ago. 2013. Acesso em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Lei/L12854.htm>. Acesso em: 15 nov. 2013.

BRASIL. Congresso Nacional. Lei nº12.727, de outubro de 2012. Estabelece normas gerais sobre a proteção da vegetação, áreas de Preservação

Permanente e as áreas de Reserva Legal; a exploração florestal, o suprimento de matéria-prima florestal, o controle da origem dos produtos florestais e o controle e prevenção dos incêndios florestais, e prevê instrumentos econômicos e financeiros para o alcance de seus objetivos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 17 out. 2012. Acesso em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12727.htm>. Acesso em: 15 nov. 2013.

BREMAN, 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.

CAMPANHA, M. M.; SANTOS, R. H. S. Análise comparativa das características da serrapilheira e do solo em cafezais (*Coffea arabica* L.) cultivados em sistema agroflorestal e em monocultura na zona da mata-MG. **Revista Árvore**, v. 31, n. 5, p. 805-812, 2007. Acesso em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v31n5/a04v31n5.pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2014.

CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A. Humosfera: **Tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas**. Campos dos Goytacazes, CCTA/UENF, 2005. 309p.

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; MOREIRA, F.M.S.; CURI, N. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 6, p. 631-637, 2009.

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; SILVA, C. A.; CURI, N.; FREITAS, D. A. F. Estoques de carbono e nitrogênio em solo sob florestas nativas e pastagens no bioma Pantanal. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 45, n. 9, p. 1028-1035, 2010.

CARDOSO, I.; KUYPER, T. Mycorrhizas and tropical soil fertility. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 116, n. 1-2, p. 72-84, 2006.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W. J.; ARMANDO, M. S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 11, p. 1153-1155, nov. 2004. Acesso em: <<https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/viewFile/6890/3946>>. Acesso em: 13 out. 2013.

CESTARO, L. A. Estudo microclimático do interior de uma mata de araucária na estação ecológica de Aracuri. Esmeralda, RS. **Revista Árvore**, v. 12, n. 1, p. 41-57, 1988.

CONANT, R. T.; PAUSTIAN, K.; DEL GROSSO, S. J.; PARTON, W. J. Nitrogen pools and fluxes in grassland soils sequestering carbon. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 71, p. 239-248, 2005.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; 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**, n. 29, p. 777-788, 2005.

COSTA, F. S.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, p. 323-332, 2008.

CRAINE, J. M.; WEDIN, D. A.; STUART CHAPIN, F. Plant Soil. In: D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FREITAS, D. A. F.; ROSCAE, R.; GUIMARÃES, P. T. G. Variações de curto prazo nas emissões de CO_2 do solo em diferentes sistemas de manejo do cafeeiro. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 9, 2009.

CRASWELL, E. T.; LEFROY, R. D. B. The role and function of organic matter in tropical soils. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 61, p. 7-18, 2001.

CURRY, J. P.; GOOD, J. A. Soil fauna degradation and restoration. **Advances in Soil Science**, v. 17, p.171-215, 1992.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J. O.; CARNEIRO, M. A. C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do Cerrado no sul do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 26, p. 913-923, 2002. Acesso em: <<http://sbcs.solos.ufv.br/solos/revistas/v26n4a08.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2013.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FREITAS, D. A. F.; ROSCAE, R.; GUIMARÃES, P. T. G. Variações de curto prazo nas emissões de CO_2 do solo em diferentes sistemas de manejo do cafeeiro. **Química Nova**, v. 32, n. 9, 2009. ISSN 2314-2317.

DAVIDSON, E. A.; SAVAGE, K.; VERCHOT, L. V. Minimizing artifacts and biases in chamber-based measurements of soil respiration. **Agricultural and Forest Meteorology**, n. 113, p. 21-37, 2002.

DEBOSZ, K.; PETERSEN, S. O.; KURE, L. K.; AMBUS, P. Evaluating effects of sewage sludge and household compost on soil physical, chemical and microbiological properties. **Applied Soil Ecology**, n. 19, p. 237-248, 2002.

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.

DEMETRIO, R. **Efeito da aplicação de matéria orgânica sobre a biomassa-C microbiana do solo e crescimento e absorção de nitrogênio em milho(Zeamays L.)**. Dissertação (Mestrado)—Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí, RJ, 1998. 98p.

DICK, R. P. Soil enzyme activities as indicators of soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). Defining soil quality for a sustainable environment. Madison: **Soil Science Society of America**, n. 35, p. 107-124, 1994.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Org.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: SSSA, 1996, p. 25-37, 1996.

DORAN, J. W.; ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: Managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, v.15, p.3-11, 2000.

DORAN, J. W. Soil quality and sustainability. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. **Anais...** Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM.

DRINKWATER, L. E.; WAGONER, P.; SARRANTONIO, M. Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses. **Nature**, n. 396, p. 262-265, 1998.

DUBOC, E. **Sistemas agroflorestais e o cerrado**. Acesso em: <http://simposio.cpac.embrapa.br/simposio/projeto/palestras/capitulo_31.pdf> . Acesso em: 10 mar 2014.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Ministério da agricultura, 1997. 212p. Acesso em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Manual+de+Metodos_000fzvhotqk02wx5ok0q43a0ram31wtr.pdf>. Acesso em: 20 out. 2013.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979. 1v.

ESWARAN, H.; VANDENBERG, E.; REICH, P. Organic-carbon in soils of the world. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, n. 1, p. 192-194, 1993.

FANG, C.; MONCRIEFF, J. B. A model for soil CO₂ production and transport. In: Brito, L. F.; Júnio, J. M.; Pereira, G. T.; Souza, Z. M.; Júnio, N. L. S. Soil CO₂ emission of sugarcane fields as affected by topography. **Scientia Agricola**, v. 66, n. 1, p. 77-83, Jan./Feb. 2009. ISSN 0103-9016. Acesso em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162009000100011>>. Acesso em: 20 out. 2013.

FANG, C.; MONCRIEFF, J. B.; GHOLZ, H. L.; CLARK, K. L. Soil CO₂ efflux and its spatial variation in a Florida slash pine plantation. **Plant and Soil**, v. 205, p. 135-146, 1998.

FERNANDES, S. A. P.; BERNOUX, M.; CERRI, C. C.; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. C. Seasonal variation of soil chemical properties and CO₂ and CH₄ fluxes in unfertilized and P-fertilized pastures in an Ultisol of Brazilian Amazon. **Geoderma**, [S.l.], v. 107, p. 227-241, 2002. Acesso em: <[http://dx.doi.org.ez27.periodicos.capes.gov.br/10.1016/S0016-7061\(01\)00150-1](http://dx.doi.org.ez27.periodicos.capes.gov.br/10.1016/S0016-7061(01)00150-1)>. Acesso em: 20 out. 2013.

FERREIRA, E. A. B.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C.; RAMOS, M. L. G. Dinâmica do carbono da biomassa microbiana em cinco épocas do ano em diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p.1625-1635, 2007.

FRANZEL, S.; COE, R.; COOPER, P. Assessing the adoption potential of agroforestry practices in sub-Saharan Africa. **Agricultural Systems**, v. 69, p. 37-62, 2001.

FRAZÃO, L. A. **Conversão do Cerrado em pastagem e sistemas agrícolas**: efeitos na dinâmica da matéria orgânica do solo. 119f. 2007. Dissertação (Mestrado)–Programa de Pós-Graduação em Ciências, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

FREITAS, A. D. S; SAMPAIO, E. V. S. B; SANTOS, C. E. R. S; FERNANDES, A. R. Biological nitrogen fixation in tree legumes of the Brazilian semi-arid caatinga. **Journal of Arid Environments**, v. 74, p. 344-349, 2010.

FREITAS, M. P. **Flutuação populacional de oligochaeta edáficos em hortas sob sistemas convencional e orgânico no município de Canoinhas/SC**. 61f. Dissertação (Mestrado em Ciências)–Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; SANTOS, G. A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, v. 29, p. 393-901, nov./dez. 2005. Acesso em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000600007>>. Acesso em: 20 mar. 2014.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; VIANA, A. P.; SANTOS, G. A. Alterações na biomassa e na atividade microbiana da serapilheira e do solo, em decorrência da substituição de cobertura florestal nativa por plantações de eucalipto, em diferentes sítios da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, n. 32, 1489-1499, 2008.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; BARROS, N. F. Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, n. 21, 361-365, 1997.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; PAULINO, G. M.; FRANCO, A. A. Atributos químicos e microbianos de solos sob diferentes coberturas vegetais no Norte do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, v. 32, p. 1521-1530, 2008. Acesso em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n4/a16v32n4.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2013.

GOORE JR, A. A. Our choice: how we can solve the planet. In: LEPSCH, I. F. **19 Lições de Pedologia**, São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 456p.

HAYNES, R. J. Lime and phosphate in the soil-plant system. **Advances in Agronomy**, New York, v. 37, p. 249-315, 1984.

HERNANI, L. C. Sistema de Plantio Direto. **Embrapa Agropecuária Oeste**, 2011. Dourados, MS. Acesso em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/sistema_plantio_direto/arvore/CONT000fwuzxobq02wyiv807fiqu9mw1rx0t.html>. Acesso em: 05 fev. 2014.

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.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Resolução do IBGE de nº 5 de 10 outubro de 2002. Acesso em: 14 mar. 2014.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate Change 2007. **The Physical Sciensis Basis**: Contribution of working Group I to the fourth Assessment Report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

ISLABÃO, G. O.; TIMM, L. C.; CASTILHOS, D. D.; PRESTES, R. B.; BAMBERG, A. L. Carbono da biomassa e atividade microbiana em solos cultivados com morango no município de Turuçu/RS. In: SILVA, C. F.; PEREIRA, M. G.; MIGUEL, D. L.; FEITORA, J. C. F.; LOSS, A.; MENEZES, C. E. G.; SILVA, E. M. R. Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no médio vale do Paranaíba do sul (RJ). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 36, p. 1680-1689, 2012. Acesso em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_issuetoc&pid=0100-068320120006&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 20 fev. 2014.

IWATA, B. F. **Dinâmica da matéria orgânica em argissolo vermelho amarelo sob sistemas agroflorestais no cerrado piauiense**. 2010.72 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)–Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2010. Acesso em: <<http://www.ufpi.br/subsiteFiles/ppga/arquivos/files/disserta%C3%A7%C3%A3o%20bruna.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2014.

IWATA, B. F.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; NUNES, L. A. P. L.; GEHRING, C.; CAMPOS, L. P. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 16, n. 7, 2012. Acesso em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000700005>>. Acesso em: 20 fev. 2014.

IZAC, A. M. N.; SANCHEZ, P. A. Towards a natural resource management paradigm for international agriculture: the example of agroforestry research. **Agricultural Systems**, v. 69, p. 5-25, 2001.

JACKSON, L. E.; CALDERON, F. J.; STEENWERTH, K. L.; SCOW, K. M.; ROLSTON, D. E. Responses of soil microbial processes and community

structure to tillage events and implications for soil quality. **Geoderma**, v. 114, p. 305-317, 2003. ISSN: 0016-7061. DOI: 10.1016/S0016-7061(03)00046-6.

JANSSENS, I. A.; KOWALSKI, A. S.; CELEUMANS, R. Forest floor CO₂ fluxes estimated by eddy covariance and chamber-based model. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 106, p. 61-69, 2001.

JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E. A. (Ed.). **Soil Biochemistry**. New York: Marcel Dekker, v. 5, p. 415-471, 1981.

JENKINSON, D. S.; PARRY, L. C. The nitrogen cycle in the broad balk wheat experiment: a model for the turnover of nitrogen through the soil microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, n. 21, p. 535-541, 1989.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil – V. A. method for measuring soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 8, n. 3, p. 209-213, 1976. Acesso em: <<http://dx.doi.org.ez27.periodicos.capes.gov.br/10.1016/0038-0717>>. Acesso em: 15 fev. 2014.

JIAO, Y.; WHALEN, J. K.; HENDERSHOT, W. H. No tillage and manure applications increase aggregation and improve nutrient retention in a sandy-loam soil. **Geoderma**, v. 134, p. 24-33, 2006.

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G. E. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, p. 4-10, 1997.

KARLEN, D. L.; STOTT, D. E. A frame work for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**: proceedings. Madison: Soil Science Society of America. (SSSA Special publication, n. 35).

KIMBALL, B. A.; LEMON, E. R. Air turbulence effects upon soil gas exchange. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 35, p. 16-21, 1971.

KIRBY, K. R.; POTVIN, C. Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of a small-scale carbon sink project. **Forest Ecology and Management**, v. 246, p. 208-221, 2007. Acesso em:

<<http://dx.doi.org.ez27.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.foreco.2007.03.072>>. Acesso em: 15 nov. 2013

LAL, R. Carbon sequestration. *Philosophical Transactions of the Royal Society Biological Sciences*, v. 363, n. 1492, p. 815-830, 2008.

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, Washington, v. 304, n. 5677, p. 1623-1627, 2004.

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, SSSA, 1994. p. 37-51.

LAVELLE, P.; DANGERFIELD, M.; FRAGOSO, C.; ESCHENBRENNER, V. LOPEZ-HERNANDEZ, D.; B. PASHANASI; BRUSSAAR L. The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility, in the biological management of tropical soil fertility. In: WOOMER, P. L.; SWIFT, M. J. **Biological Management of Tropical Soil Fertility**. Wiley Sayce, 1994. p. 137-169.

LEAL FILHO, N; SANTOS, G. R.; FERREIRA, R. L. Comparando técnicas de nucleação utilizadas na restauração de áreas degradadas na Amazônia brasileira. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 37, n. 4, p. 587-597. 2013. Acesso em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v37n4/02.pdf>>. Acesso em: 14 jan. 2014.

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. Acesso em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v27n5/v27n5a06.pdf>>. Acesso em: 14 fev. 2014.

LEITE, L. F. C; GALVÃO, S. R. S.; NETO, M. R. H.; ARAÚJO, F. S.; IWATA, B. F. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no Cerrado do Piauí. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.12, p.1273-1280, 2010.

LIMA, S. S.; LEITE, L. F. C.; AQUINO, A. M.; OLIVEIRA, F. C.; CASTRO, A. A. J. F. Serapilheira e teores de nutrientes em argissolo sob diferentes manejos no norte do Piauí. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 75-84, 2010. Acesso em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v34n1/v34n1a09.pdf>>. Acesso em: 16 jan. 2014.

LIMA, S. S.; LEITE, L. F. C.; OLIVEIRA, F. C.; COSTA, D. B. Atributos químicos e estoques de carbono e nitrogênio em argissolo vermelho-amarelo sob sistemas agroflorestais e agricultura de corte e queima no norte do Piauí. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, p. 51-60, 2011. Acesso em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622011000100006>> Acesso em: 14 mar. 2014.

LINDEN, R. D., HENDRIX, P. F.; COLEMAN, D. C.; VAN VILET, P. C. J. Faunal indicators of soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 91-106.

LISBOA, B. B. **Parâmetros microbiológicos como indicadores de qualidade do solo em sistemas de manejo**. 2009, 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo)–Universidade federal do Rio Grande do Sul. 2009. Acesso em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/17697/000722930.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 14 mar. 2014.

LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; ALOVISI, A. M. T.; GASPARINI, A. S.; GOMES, C. F.; NUNES, C. M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos do solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, p. 20-28, 2011.

LOVEALL, S. T.; SULLIVAN, W. C. Environmental benefits of conservation buffers in the United States: evidence, promise, and open questions. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 112, p. 249–260, 2006.

LOWRANCE, R.; DABNEY, S.; SCHULTZ, R. Improving water and soil quality with conservation buffers. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 57, p. 36-43, 2002.

LUCHESE, E. B.; FAVERO, L. O. B.; LENZI, E. **Fundamentos da química do solo teoria e prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2001.

LUNDEGÅRDH, H. Carbon dioxide evolution of soil and crop growth. **Soil Science**, Baltimore, v. 23, p. 417-453, 1927.

MACDICKEN, K.G.; VERGARA, N. T. (Ed.). **Agroforestry, classification and management**. New York: John Wiley, 1990. 382 p.

MACEDO, R. L. G. **Princípios básicos para o manejo sustentável de sistemas agroflorestais**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2000.

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Frações de nitrogênio em Luvisolo sob sistemas agroflorestais e convencional no semi-árido cearense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 381-392, 2008. Acesso em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n1/36.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2014.

MARTINS, C. M.; GALINDO, I. C. L.; SOUZA, E. R.; POROCA, H. A. Atributos químicos e microbianos do solo de áreas em processo de desertificação no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v 34, p. 1883-1890, 2010. Acesso em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000600012>>. Acesso em: mar. 2014.

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

MELE, P. M.; CARTER, M. R. Effect of climatic factors on the use of microbial biomass as an indicator of changes in soil organic matter. In: MULONGOY, K.; MERCKX, R. (Ed.). **Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture**. New York: JohnWiley& Sons, 1993. p. 57-64.

MELLO, F. A. F.; SOBRINHO, M. O. C. B.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R. I.; NETTO, A. C.; KIELH, J. C. **Fertilidade do Solo**. São Paulo: NOBEL, 1983.

MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P.; ALVARENGA, M. I. N.; VIEIRA, F. B. M. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, p. 2461-2470, 2008. Acesso em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n6/v32n6a23.pdf>> Acesso em: 15 mar. 2014.

MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B. D. Microrganismos do solo a e a sustentabilidade dos agroecossistemas. Planaltina, DF: **Embrapa Cerrados**, 2010. Acesso em: <<http://www.cpac.embrapa.br/noticias/artigosmidia/publicados/188/>>. Acesso em: 05 fev. 2014.

MENDONÇA, E. S.; STOTT, D. E. Characteristics and decomposition rates of pruning residues from a shaded coffee system in Southeastern Brazil. In: SILVA, A. T. **Sistema agroflorestal sobre cultivo de leguminosas: fertilidade do solo, resistência a penetração e produtividade de milho e feijão-caupi**. Dissertação (Mestrado Mestrado em Produção Vegetal)–Universidade Federal do Tocantins, 2011. Acesso em:

<http://www.site.uft.edu.br/producaovegetal/dissertacoes/Atila_Reis_da_Silva.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2014.

MENEZES, C. E. G. **Integridade de paisagem, manejo e atributos do solo no médio Vale do Paraíba do Sul Pinheiral-RJ**. Tese (Doutorado em Agronomia) Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008. 160p. Acesso em: <[http://www.ia.ufrj.br/cpacs/arquivos/teses_dissert/78_Carlos_Eduardo__\(D02008\).pdf](http://www.ia.ufrj.br/cpacs/arquivos/teses_dissert/78_Carlos_Eduardo__(D02008).pdf)>. Acesso em: 15 mar. 2014.

MIELNICZUK, J. Matéria Orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica dos solos**. Porto Alegre: Gêneses, 1999, p.1-9.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2. ed. atual. e ampl. Lavras: Ed. Ufla, 2006. 729p.

NAIR, P. K. R. Agroecosystem management in the 21st century: it is time for a paradigm shift. **Journal of Tropical Agriculture**, v. 46, p.1-12, 2008.

NAIR, P. K. R. Agroforestry systems and environmental quality: introduction. **Journal of Environmental Quality**, v. 40, n. 3, 2011.

NAIR, P.K.R. **An introduction to agroforestry**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1993. 499p.

NAIR, P. K. R.; KUMAR, B. M.; NAIR, V. D. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 172, p. 10-23, 2009.

NANNIPIERI, P. Microbial biomass and activity measurements in soil: ecological significance. In: KLUG, M. J.; REDDY, C. A. **Current perspectives in microbial ecology**. Washington: American Society for Microbiology, 1984. p. 515-521.

NEVES, C. M. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; MACEDO, R. L. G.; MOREIRA, F. M. S.; D'ANDRÉA, A. F. Indicadores biológicos da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 105-112, 2009.

NICODEMO, M. L. F.; PRIMAVERSI, O. Sistemas agroflorestais: em busca de sistemas de produção sustentáveis. In: SEMANA DO ESTUDANTE, 18.,

2007, São Carlos. **Anais...** São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007. p.11.

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.; GORDON, A. M. Carbon sequestration in tropical and temperate agroforestry systems: a review with examples from Costa Rica and southern Canada. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 104, p. 359-377, 2004. Acesso em: <<http://dx.doi.org.ez27.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.agee.2004.04.001>>.

PAOLETTI, M. G. The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 74, p. 137-155, 1999.

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. Dynamics of residue decomposition and soil organic matter turnover In: PAUL, E.A.; CLARK, F. E. **Soil microbiology and biochemistry**. California: Academic Press, p. 117-132, 1989.

PEREIRA, F. H.; MERCANTE, F. M.; PADOVAN, M. P. Biomassa microbiana do solo sob sistemas de manejo com diferentes coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 3, p. 130-133, 2008. Acesso em: <<http://www.aba-groecologia.org.br/revistas/index.php/cad/article/view/3255>>. Acesso em: 15 mar. 2014.

PEREZ, K. S.; RAMOS, M. L. G.; McMANUS, C. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 567-573, 2004.

PEZARICO, C. R.; VITORINO, A. C. T.; MERCANTE, F. M.; DANIEL, O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 56, n. 1, p. 40-47, jan./mar. 2013. Acesso em: <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2013.004>.

PINTO-JUNIOR, O. B.; SANCHES, L.; DALMOLIN, A.C.; NOGUEIRA, J. S. Efluxo de CO₂ do solo em floresta de transição Amazônia Cerrado e em área de pastagem. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 4, p. 813-821, 2009. Acesso em: <www.scielo.br/pdf/aa/v39n4/v39n4a09.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2014.

PITOMBO, L. M. **Estoques de carbono e nitrogênio e fluxos de gases do efeito estufa em solo com diferentes históricos de aplicação de lodo de**

esgoto. 2011, 61p. Dissertação (Mestrado)–Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2011. Acesso em: <<http://www.iac.sp.gov.br/areadoinstituto/posgraduacao/dissertacoes/pb1214509%20LEONARDO%20MACHADO%20PITOMBO.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2014.

PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. D.'A. V.; COSTA, L. M.; 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. Acesso em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000100024>>. Acesso em: 25 mar. 2014.

POWER, R. F; TIARKS, A. E; BOYLE, J. R. Assessing soil quality: Practicable standard for sustainable forest productivity in United States. In: BIGHAM, J. M., KRAL, D. M; VINEY, M. K; ADAMS, M. B; RAMAKRISHNA, K; DAVIDSON, E. A. (Ed.). **The contribution of soil science to the development and implementation of criteria and indicators of sustainable forest management**. Madison: Soil Science Society of Americam, 1998. p. 53-80.

PULROLNIK, K.; BARROS, N. F. de; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; BRANDANI, C. B. Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no vale do Jequitinhonha-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p.1125-1136, 2009. Acesso em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000500006>>. Acesso em: 15 mar. 2014.

REEVES, D. W. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. **Soiland Tillage Ressearch**, New York, v. 43, p.131-147, 1997.

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. 185-193, 2001.

RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C.; RODRIGUES, D. C. Influência do uso e manejo do solo na produção de CO₂ em diferentes agroecossistemas na região dos cerrados (compactdisc). In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., Águas de Lindóia, 1996. **Solo-suelo 96**: trabalhos. Piracicaba: SBCS/SLCS, 1996.

RESOLUÇÃO CONAMA nº 369, de 28 de março de 2006. **DOU**, Seção 1, p. 150-151, n. 61, 29 mar. 2006.

RESOLUÇÃO CONAMA nº 429, de 28 de fevereiro de 2011. **DOU**, n. 4302 mar. 2011.

RITA, J. C. O. Carbono das frações da matéria orgânica e classes de agregados de solos sob sistemas agroflorestais de cacau no Sul da Bahia. 51f. 2007. Dissertação (Mestrado em produção vegetal)–Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agropecuária, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 2007.

ROCHA, G. P. **Estoque de Carbono em Sistemas Agroflorestais no Norte de Minas Gerais**, 66f., 2013. Dissertação (Mestrado em ciências Agrárias)– Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, 2013.

RODRIGUES, E. R.; CULLEN JR, L.; BELTRAME, T. P.; MOSCOGLIATO, A. V.; SILVA, I. C. Avaliação econômica de sistemas agroflorestais implantados para recuperação de reserva legal no Pontal do Paranapanema, São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 31, n. 5, p. 941-948, 2007.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B.; SANTOS, J. C. F.; HUNGRIA, M. Biomassa Microbiana do Solo: Fração mais Ativa da Matéria Orgânica. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. **Dinâmica da Matéria Orgânica do Solo em Sistemas Conservacionistas**: modelagem matemática e métodos auxiliares. Dourados – MS, Embrapa Agropecuária Oeste, 2006, 163-198 p.

ROSS, D. J.; SPARLING, G. P.; BURKE, C. M. & SMITH, C. T. Microbial biomass C and N, and mineralizable-N, in litter and mineral soil under Pinus radiata on a coastal sand: Influence of stand age and harvest management. **Plant Soil**, n. 175, p. 167-177, 1995.

SAHA, J. K.; SINGH, A. B.; GANHES HAMURTY, 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.

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. **Embrapa Gado de Leite**, Juiz de Fora: 2001. p. 9-17.

SANTANA, D. P.; BAHIA FILHO, A. F. C. Soil quality and agricultural sustainability in the Brazilian Cerrado. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 16., 1998. Montpellier: ISSS, 1998. CD-ROM.

SANTIAGO, W. R.; VASCONCELOS, S. S.; KATO, O. R.; BISPO, C. J. C.; RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T.; CASTELLANI, D. C. Nitrogênio mineral e microbiano do solo em sistemas agroflorestais com palma de óleo na Amazônia oriental. **Acta Amazônica**, v. 43, n.4, p. 395-406, 2013. Acesso em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672013000400001>>. Acesso em: 15 fev. 2014.

SANTOS, E. **Carbono, nitrogênio e relação C/N em gleissolo e cambissolo sob diferentes tipologias vegetais na área de ocorrência da Floresta Ombrófila Densa, Antonina – PR**. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo)–Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná Curitiba, 2007. Acesso em: <http://www.pgcisolo.agrarias.ufpr.br/dissertacao/2007_08_30_santos.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2014.

SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Geneses, 1999.

SAVIOZZI, A.; BUFALINO, P.; LEVI-MINZI, R.; RIFFALD, R. Biochemical activities in a degraded soil restored by two amendments: a laboratory study. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 35, p. 96-101, 2002.

SCHARPENSEEL, H. W. Preface to workshop 'Management of carbon in tropical soils under global change: science, practice and policy'. **Geoderma**, Amsterdam, v. 79, p. 1-8, 1997.

SCHOLES, M. C.; SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; SANCHEZ, P. A.; INGRAM, J. S. I.; DALAL, R. Soil fertility research in response to the demand for sustainability. p. 1-14. In: WOOMER, P. L.; SWIFT, M. J. (Ed.). **The Biological Management of Tropical Soil Fertility**, Chichester. West Sussex, UK: John Wiley & Sons, 1994.

SCHROTH, G.; D'ANGELO, S. A.; TEIXEIRA, W. G.; HAAG, D.; LIEBEREI, R. Conversion os secondary Forest into agroforestry and monoculture plantations in Amazônia: consequences for biomass, litter and soil carbon stocks after 7 years. **Forestry Ecology and Management**, v. 163, p. 131-150, 2002.

SEASTED, T.R.; CROOSLEY, D. A. The influence of arthropods on ecosystems. **Bio Science Jornal**, Tokyo, v. 34, p. 157-161, 1984.

SERRAJ R. **Symbiotic nitrogen fixation**: prospects for enhanced application in tropical agriculture. IBH, New Delhi, 2004. p. 367.

SILVA, C. A.; VALE, F. R. Disponibilidade de nitrato em solos brasileiros sob efeito da calagem e de fontes e doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 12, p. 2461-2471, 2000. Acesso em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v35n12/a17v3512.pdf>>. Acesso em: 05 mar. 2014.

SILVA, C. F.; PEREIRA, M. G.; MIGUEL, D. L.; FEITORA, J. C. F.; LOSS, A.; MENEZES, C. E. G.; SILVA, E. M. R. Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no médio vale do Paranaíba do sul (RJ). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 36, p. 1680-1689, 2012. ISSN 0100-0683. Acesso em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_issuetoc&pid=0100-068320120006&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 15 fev. 2014.

SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo (BMS-C). **Comunicado Técnico 98**, Seropédica, RJ, 2007. ISSN 1517-8862. Acesso em: <<http://www.cnpab.embrapa.br/comunicado-tecnico/COT098>>. Acesso em: 15 fev. 2014.

SILVA, G. R.; SENA, W. L.; SILVA JUNIOR, M. L. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana como indicadores ambientais de um latossolo amarelo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista de Ciências Agrárias**, Marituba, Pará, v. 48, p. 84, 2007.

SILVA, P. P. V. **Sistemas agroflorestais para recuperação de matas ciliares em Piracicaba, SP**. Piracicaba, 2002. 110 f. Dissertação (Mestrado)–Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2002.

SILVA, R. R.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. S.; CURTI, N.; ALOVISI, A. M. T. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica campos das Vertentes – MG. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, n. 34, p. 1585-1592, 2010. Acesso em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v34n5/11.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2007.

SILVEIRA, R. B.; MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P. Atributos microbiológicos e bioquímicos como indicadores da recuperação de áreas degradadas, em Itajubá/MG. **Cerne**, v. 12, n. 1, p. 48-55, 2006.

SMILEY, G. L.; KROSCHER, 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 microbial biomass estimation. In: BOLLAG, J. M., STOTZKY, G. (Ed.). **Soil Biochemistry**, New York: Marcel Dekker, v. 6, p.357-396, 1990.

SOLOMON, D.; FRITZSCHE, F.; LEHMANN, J.; TEKALIGN, M.; ZECH, W. Soil organic matter dynamics in the subhumidagroecosystems of the Ethiopian Highlands: Evidence from natural ^{13}C abundance and particle-size fractionation. **Soil Science Society of America Journal**, n. 66, p. 969-978, 2002.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry**: genesis, composition, reactions. New York: J. Wiley, 1994. 496 p.

STEVENSON, F. J.; COLE, M.A. **Cycles of soil**: Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. 2nd ed. New York, John Wiley & Sons, 1999. 427p.

STOTZKY, G. Microbial respiration. In: BLACK, C.A., (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. v. 2. p. 1550-1570.

STOTZKY, G.; NORMAN, A. G. Factors limiting microbial activities in soil: I. The level of substrate, nitrogen, and phosphorus. **Archives of Microbiology**, n. 40, p. 341-369, 1961.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 2, p.196-275, 2002.

TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Características Biológicas do solo Indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de biossólido industrial e cultivo de milho. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 31, n. 5, p.1173-1184, set./out. 2007.

UDAWATTA R. P; KREMER R. J; ADAMSON B. W; ANDERSON S. H. Variations in soil aggregate stability and enzyme activities in a temperate agroforestry practice. **Applied Soil Ecology**, n. 39,153-160, 2008.

VALENTINI, C. M. A.; ESPINOSA, M. M.; PAULO, S. R. Estimativa do efluxo de CO_2 do solo por meio de regressão múltipla para floresta de transição no

noroeste do Mato Grosso. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 1, p. 9-16, jan./mar. 2008. ISSN 2317-6342. Acesso em: <<http://www.dcf.ufla.br/cerne/publicacao.php?volume=14&numero=1>>. Acesso em: 12 fev. 2014.

VAN VEEN, J. A.; LADD, J. N.; FRISSEL, M. J. Modelling C and N turnover through the microbial biomass in soil. **Plant Soil**, n. 76, p. 257-274, 1984.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass. **Soil Biology & Biochemistry**, n. 19, p. 703-707, 1987. Acesso em: <[http://dx.doi.org.ez27.periodicos.capes.gov.br/10.1016/0038-0717\(87\)90052-6](http://dx.doi.org.ez27.periodicos.capes.gov.br/10.1016/0038-0717(87)90052-6)>. Acesso em: 15 jan. 2014.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 33, n. 4, p. 743-755, 2009. Acesso em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v33n4/01.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2014.

VIANA, V. Conceitos sobre sistemas agroflorestais In: **Dossiê sobre sistemas agroflorestais no domínio da Mata Atlântica**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1992. 64p.

VILCAHUAMÁN, L. J. M.; RIBASKI, J.; MACHADO, A. M. B. **Sistemas agroflorestais e desenvolvimento com proteção ambiental**: perspectivas, análises e tendências. Embrapa Florestas, 2006. 186 p.

VILLATORO, M. A. A. **Matéria orgânica e indicadores biológicos da qualidade do solo na cultura do café sob manejo agroflorestral e orgânico**, 2004, 176p. Tese (Doutorado em Agronomia) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004. Acesso em: <<http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/10820/3246/166723f.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 10 jan. 2014.

WAGNER, G. H.; WOLF, D. C. Carbon transformations and soil organic matter formation. In: Pulrolnik, Karina. **Transformações do Carbono do Solo**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2009. 36p. ISSN 1517-5111.

WANG, X.; GONG, Z. Assessment and analysis of soil quality changes after eleven years of reclamation in subtropical China. **Geoderma**, v. 81, p. 355, 1998.

WOLF, B.; SNYDER, G. H. **Sustainable Soils**: The place of organic matter in sustaining soils and their productivity. New York: Ed. Food Products Press, Binghamton, 2003. 352p.

YADAV, R. S; YADAV B. L; CHHIPA, B. R.; DHYANI S. K.; RAM, M. Soil biological properties under different tree based traditional agroforestry systems in a semi-arid region of Rajasthan, India. **Agroforest Systems**, n. 81, p. 195-202, 2010.

YAN, F., MCBRATNEY A. B; COPELAND L. Functional substrate biodiversity of cultivated and uncultivated a horizons of vertisols in NW New South Wales. **Geoderma**,n. 96, 321-343, 2000.

YOUNG, A. **Agroforestry for soil conservation**. Wallingford: CAB International, 1989. 276p.

YOUNG, A. **Agroforestry for soil management**. 2nd ed. Nairobi: CAB Internacional, 1997, 320p.