



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

EDICÉLIA DE BARROS RIBEIRO

**DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA E FLUXOS DE CO₂ E
CH₄ EM SOLO SOB CULTIVO DE MANGUEIRA ASSOCIADO
COM ADUBAÇÃO VERDE NO SEMIÁRIDO**

**Juazeiro – BA
2018**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

EDICÉLIA DE BARROS RIBEIRO

**DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA E FLUXOS DE CO₂ E
CH₄ EM SOLO SOB CULTIVO DE MANGUEIRA ASSOCIADO
COM ADUBAÇÃO VERDE NO SEMIÁRIDO**

Dissertação apresentada a Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, campus Juazeiro – BA, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador: Professor D. Sc. Augusto Miguel Nascimento Lima
Coorientadora: Professora D. Sc. Emanuelle Mercês Barros Soares

**Juazeiro – BA
2018**

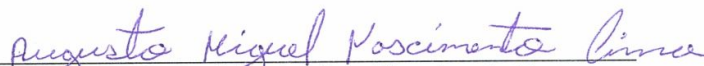
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

FOLHA DE APROVAÇÃO

EDICÉLIA DE BARROS RIBEIRO

**DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA E FLUXOS DE CO₂ E
CH₄ EM SOLO SOB CULTIVO DE MANGUEIRA ASSOCIADO
COM ADUBAÇÃO VERDE NO SEMIÁRIDO**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre



Professor D. Sc. Augusto Miguel Nascimento Lima
UNIVASF/CPGEA



Professora D. Sc. Emanuelle Mercês Barros Soares
UFV/DPS



Professor D. Sc. Jailson Cavalcante Cunha
UNIVASF/PNPD



D. Sc. Rafael da Silva Teixeira
UFV/PNPD

Juazeiro, 15 de maio de 2018

	Ribeiro, Edicélia de B.
R484d	Dinâmica da matéria orgânica e fluxos de CO ₂ e CH ₄ em solo sob cultivo de mangueira associado com adubação verde no Semiárido/Edicélia de Barros Ribeiro - Juazeiro-BA, 2018.
	75f: il.: 29 cm.
	Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro, Juazeiro-BA, 2018.
	Orientador: Professor D. Sc. Augusto Miguel Nascimento Lima
	1. Adubação verde. 2. Matéria orgânica. 3. Irrigação. I. Título. II. Lima, Augusto Miguel Nascimento. III. Universidade Federal do Vale do São Francisco.
	CDD 631.874

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Integrado de Biblioteca SIBI/UNIVASF
Bibliotecário: Márcio Pataro

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo presente da vida e pelas pessoas que foram colocadas em meu caminho;

Aos meus pais, Evandro e Maricélia e, aos irmãos Edson, Pedro e Evandro Filho, que sempre acreditaram em mim;

Ao Professor Augusto Lima, pela orientação, confiança e por sua incrível capacidade de acreditar nos sonhos dos outros;

A Jailson Cunha, por sua humildade, coerência e conselhos sábios;

A Professora Emanuelle Soares, pela receptividade e sempre prestativa;

A Rafael Teixeira, pelas contribuições com sugestões neste trabalho e, sobretudo amizade;

A Camila Israela, companheira do mestrado e pessoa extremamente sensível;

Ao grupo do Laboratório de Química do Solo, a melhor equipe de trabalho, Laura Paula, Talison, Jeferson, Juliana, Raiza, Roberto, Emerson, Eduardo, Raí, Guilherme, Filipe, João, Daniel, Gleidson, Thiago, Kátia e Sheila. Por todos os momentos que compartilhamos juntos, a vocês sou muito grata!

Ao grupo do Laboratório de Isótopos Estáveis, especialmente a João Milagres, Humberto, Aline, Luciana, Luisa, Juana, Pedro Damis e Jônatas, por toda ajuda e com quem aprendi muito;

As amigas, desde a graduação, Patrícia, Janielle e Nayara, pela paciência e momentos de descontração;

A Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE) pela concessão da bolsa;

A Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade e infraestrutura oferecida para a realização deste trabalho e aos professores, pelos conhecimentos adquiridos durante o mestrado;

O presente trabalho foi realizado com apoio do Programa Nacional de Cooperação Acadêmica da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES/Brasil.

Aos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho,

Muito obrigada!!!

RIBEIRO, E.B. DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA E FLUXOS DE CO₂ E CH₄ EM SOLO SOB CULTIVO DE MANGUEIRA ASSOCIADO COM ADUBAÇÃO VERDE NO SEMIÁRIDO. 2018. 83f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal do Vale do São Francisco, UNIVASF, Juazeiro-BA.

RESUMO

Estudos relacionados aos fluxos superficiais de CO₂ e CH₄ em cultivo de mangueira irrigada associada à adubação verde na região do Vale do Submédio São Francisco ainda são escassos. Em virtude das questões que envolvem as mudanças climáticas globais, faz-se necessário, tanto o acompanhamento do comportamento das emissões destes gases em resposta às alterações no bioma caatinga e das atuais práticas agrícolas adotadas, quanto à obtenção de estratégias de manejo que possam mitigar tais emissões e aumentar o sequestro de carbono (C) no solo. Diante disso, o uso de adubos verdes surge como uma alternativa. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a emissão de gases do efeito estufa (GEE) e a dinâmica da matéria orgânica em área cultivada com mangueira irrigada sem e com adubação verde em Petrolina-PE. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com oito tratamentos compostos por diferentes adubos verdes com espécies leguminosas (L) e gramíneas (G), com quatro repetições: Guandu (*Cajanus cajan* L.) – L; Milheto (*Penisetum americanum* L.) – G; Guandu + Milheto – L+G; Guandu + Crotalária (*Crotalaria juncea* L.) + Milheto + Sorgo (*Sorghum vulgare Pers.*) – 2L+2G; Guandu + Milheto + Milho (*Zea mays* L.) + Sorgo – L+3G; Guandu + Crotalária + Feijão-de-Porco (*Canavalia ensiformes*) + Milheto – 3L+G; Vegetação espontânea – VE; e Sem cobertura vegetal - SCV. As coletas de gases (C-CO₂ e C-CH₄) foram realizadas durante quatro momentos ao longo de um ano, sendo: 45, 75, 266 e 365 dias após a semeadura (DAS) dos adubos verdes. Foi determinado, também, o particionamento dos fluxos superficiais totais de C-CO₂ em fluxos superficiais de C-CO₂ derivados dos adubos verdes e derivados do solo, usando as diferenças nas assinaturas isotópicas de δ¹³C, além do efeito priming, temperatura e umidade do solo. Aos 365 dias após a semeadura (DAS) dos adubos verdes foram determinados os estoques de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), relação C/N, C da matéria orgânica particulada (MOP), C da fração associada aos minerais (MAM), C das substâncias húmicas - SH (fração ácido fúlvico - FAF, fração ácido húmico - FAH e fração húmica - FH), C da biomassa microbiana (C-BM) e, a abundância natural de ¹³C (δ¹³C) da MOP e MAM nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade. Os fluxos superficiais totais de C-CO₂ do solo aumentaram ao longo de 365 DAS dos adubos verdes. A maior contribuição para os fluxos superficiais totais de C-CO₂ do solo foi derivado dos fluxos superficiais de C-CO₂ dos adubos verdes. O aporte de resíduos orgânicos dos adubos verdes na superfície do solo resultou em efeito priming negativo do C do solo. A partir dos 75 DAS dos adubos verdes, o fluxo superficial total de CH₄ no solo apresentou um padrão estocástico em relação aos diferentes adubos verdes avaliados. Os estoques de C das frações da matéria orgânica do solo foram diretamente afetados pelos adubos verdes. O cultivo de adubos verdes na entrelinha da mangueira aumenta os estoques de COT e NT na camada mais superficial do solo, com destaque para os tratamentos 3L+G, L+G e 2L+2G. Os efeitos dos adubos verdes nos estoques de C da MOP, MAM e SH ficaram restritos a camada de 0-10 cm de profundidade do solo. Não houve

mudanças expressivas no enriquecimento de ^{13}C nas frações MOP e MAM. O cultivo de plantas de cobertura, leguminosas associadas com gramíneas, utilizadas como adubos verdes constitui uma importante estratégia de manejo para o sequestro de C no solo sob pomares de mangueira nas condições semiáridas.

Palavras-chaves: Gases do efeito estufa. Carbono orgânico do solo. Matéria orgânica particulada. Plantas de cobertura. $\delta^{13}\text{C}$ - CO_2 . Efeito priming. *Mangifera indica* L.

RIBEIRO, E.B. ORGANIC MATTER DYNAMICS AND CO₂ AND CH₄ FLUXES IN SOIL UNDER MANGO CULTIVATION ASSOCIATED WITH GREEN MANURE IN SEMI-ARID REGION. 2018. 83f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal do Vale do São Francisco, UNIVASF, Juazeiro-BA.

ABSTRACT

Studies related to surface fluxes of CO₂ and CH₄ under irrigated mango cultivation associated with green manure in the Sub-middle São Francisco Valley region are still scarce. Due to issues involving global climate changes, it becomes necessary to both monitor the behavior of the emissions of these gases in response to alterations in the Caatinga biome and current agricultural practices adopted, and develop management strategies capable of mitigating these emissions and increasing carbon (C) sequestration in the soil. In this context, the use of green manure crops emerges as an alternative. Thus, this study aimed to evaluate the emission of greenhouse gases (GHG) and organic matter dynamics in area under irrigated mango cultivation with and without green manure in Petrolina-PE, Brazil. The experimental design was randomized blocks with eight treatments composed of four different green manure crops, with leguminous (L) and grass (G) species, in four replicates: Pigeon pea (*Cajanus cajan* L.) – L; Millet (*Penisetum americanum* L.) – G; Pigeon pea + Millet – L+G; Pigeon pea + Brown hemp (*Crotalaria juncea* L.) + Millet + Sorghum (*Sorghum vulgare Pers.*) – 2L+2G; Pigeon pea + Millet + Corn (*Zea mays* L.) + Sorghum – L+3G; Pigeon pea + Brown hemp + Jack bean (*Canavalia ensiformes*) + Millet – 3L+G; spontaneous vegetation – SV; and absence of vegetation cover - AVC. Gas collections (C-CO₂ and C-CH₄) were carried out at four times over one year: 45, 75, 266 and 365 days after sowing (DAS) of green manure crops. Partitioning of total surface fluxes of C-CO₂ into surface fluxes of C-CO₂ derived from green manure crops and derived from soil was also determined using the differences in δ¹³C isotopic signatures, besides priming effect, temperature and soil moisture. At 365 DAS of green manure crops, the following parameters were determined: stocks of total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN), C/N ratio, C from particulate organic matter (POM), C from mineral-associated organic matter (MAOM), C from humic substances - HS (fulvic acid fraction – FAF, humic acid fraction – HAF and humin fraction – HF), C from microbial biomass (C-MB) and natural abundance of ¹³C (δ¹³C) in POM and MAOM in the 0-10, 10-20 and 20-40 cm layers. Total surface fluxes of soil C-CO₂ increased along 365 DAS of green manure crops. Greater contribution to total surface fluxes of soil C-CO₂ came from the surface fluxes of C-CO₂ derived from green manure crops. The supply of organic residues from green manure crops on soil surface resulted in negative priming effect of soil C. From 75 DAS of green manure crops, the total surface flux of CH₄ in the soil showed a stochastic pattern in response to the different green manure crops evaluated. Stocks of C from soil organic matter fractions were directly affected by green manure crops. Green manure cultivation in mango interrows increases TOC and TN stocks in the most superficial soil layer, especially in the treatments 3L+G, L+G and 2L+2G. Effects of green manure crops on the stocks of C from POM, MAOM and HS were limited to the 0-10 cm soil layer. There were no expressive changes in ¹³C enrichment in the fractions POM and MAOM. Cultivation of cover crops, leguminous species associated with

grasses, used as green manure, is an important management strategy for C sequestration in soil under mango orchards in semi-arid conditions.

Keywords: Greenhouse gases. Soil organic carbon. Particulate organic matter. Cover crops. $\delta^{13}\text{C}$ -CO₂. Priming effect. *Mangifera indica* L.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1. A CULTURA DA MANGUEIRA (<i>Mangifera indica</i> L.) NO VALE DO SÃO FRANCISCO	13
2.2. ADUBAÇÃO VERDE	13
2.3. MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO (MOS)	15
2.4. EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA (GEE)	17
2.5. REFERÊNCIAS	18
3. ARTIGO 1: Fluxos de CO₂ e CH₄ em solo sob cultivo de mangueira associado com adubação verde no semiárido	24
3.1. INTRODUÇÃO	26
3.2. MATERIAL E MÉTODOS	27
3.2.1. Descrição da área de estudo	27
3.2.2. Estabelecimento e condução experimental	30
3.2.3. Coleta e determinação dos fluxos superficiais totais de C-CO ₂ , C-CH ₄ e da δ ¹³ C-CO ₂	32
3.2.4. Fluxos superficiais de C-CO ₂ derivado dos adubos verdes e derivado do solo	33
3.2.5. Efeito priming da matéria orgânica do solo influenciada pelos diferentes adubos verdes	34
3.2.6. Análise estatística	35
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
3.4. CONCLUSÕES	46
3.5. REFERÊNCIAS	46
4. ARTIGO 2: Dinâmica da matéria orgânica em solo sob cultivo de mangueira associado à adubo verde no semiárido	54
4.1. INTRODUÇÃO	56
4.2. MATERIAL E MÉTODOS	57
4.2.1. Descrição da área de estudo	57
4.2.2. Estabelecimento e condução experimental	60
4.2.3. Frações da matéria orgânica do solo	62
4.2.4. Análise estatística	64
4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
4.4. CONCLUSÕES	75
4.5. REFERÊNCIAS	75
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	83

1. INTRODUÇÃO GERAL

O Nordeste ocupa 1.554.291,74 km² do território nacional, onde aproximadamente 844.453 km² são ocupados pelo bioma Caatinga (IBGE, 2014). Sua vegetação caracteriza-se por apresentar grande diversidade de espécies arbóreas e arbustivas, quase sempre decíduas ou xerófilas, com respostas diferenciadas as condições do ambiente (SANTOS et al., 2012).

A caatinga é considerada um dos biomas mais importantes do Brasil, localizado em uma das regiões mais vulneráveis do país quanto aos aspectos das mudanças climáticas, com influência significativa na dinâmica dos gases de efeito estufa (GEE) e contribuindo para a mitigação dos efeitos potencializadores do aquecimento global (FERREIRA et al., 2018; MATA et al., 2015).

O Vale do São Francisco está inserido na região semiárida do Nordeste brasileiro, caracterizada pela presença do bioma Caatinga, que é considerada um ecossistema frágil, sendo este, dentre os biomas brasileiros, o que mais sofre com a ação antrópica (PEREIRA FILHO et al., 2016; RIBEIRO et al., 2016). A conversão da caatinga em pomares de mangueira irrigada, no Vale do São Francisco, proporciona uma exploração agrícola contínua, com longos ciclos de cultivo, o que pode resultar em mudanças nos estoques da matéria orgânica do solo (MOS), consequentemente em sua sustentabilidade (CUNHA et al., 2016; SMITH et al., 2014).

O cultivo da mangueira (*Mangifera indica* L.) no Vale do São Francisco, fronteira entre os estados da Bahia e Pernambuco, tem se destacado nos últimos anos como uma das mais importantes culturas para a economia nacional e local devido à exportação do fruto e mercado interno, o qual representou 84% das exportações brasileiras de manga (CEPEA, 2017). Em 2017, esses dois estados possuíam aproximadamente 27.000 ha de área destinada à colheita de manga e tudo indica que uma nova expansão deve ocorrer em 2018.

Estudos relacionados à emissão de GEE, em áreas de mangueira irrigada, especificamente, no Vale do São Francisco, ainda são escassos, havendo a necessidade de se fazer o acompanhamento das emissões de GEE em resposta ao manejo adotado nos cultivos agrícolas ao longo do tempo. De acordo com o Sistema de Estimativa de Gases de Efeito Estufa (SEEG), do Observatório do Clima, o maior potencial de redução de emissões de dióxido de carbono (CO₂) para a atmosfera está no carbono (C) do solo (SEEG, 2017). No entanto, o aumento nos estoques de

C no solo exige o acúmulo de matéria orgânica mais rapidamente, através da maior produção de biomassa vegetal, do que a perda por meio da respiração heterotrófica (McCOURTY et al., 2018).

Nesse sentido, as plantas de cobertura são uma ferramenta agrícola que pode fornecer quantidades significativas de resíduos ricos em C ao solo, modificando a quantidade e a qualidade da MOS. Sistemas que incluem leguminosas, como culturas de cobertura, melhoram o balanço de nitrogênio no solo, notadamente, através da fixação biológica de N₂ (FBN) e, conseqüentemente, estimulam o incremento de C no solo (BAYER et al., 2011). Várias espécies das leguminosas Crotalária (*Crotalaria juncea* L.), Feijão-de-Porco (*Canavalia ensiformes*) e Guandu (*Cajanus cajan* L.); e gramíneas Milheto (*Penisetum americanum* L.), Milho (*Zea mays* L.) e Sorgo (*Sorghum vulgare Pers.*) são utilizadas para manter ou aumentar os estoques de MOS e, conseqüentemente, sequestrar C no solo no semiárido brasileiro (CUNHA et al., 2016; GIONGO et al., 2011; MENDES et al., 2011).

A MOS desempenha um papel importante na sustentabilidade do sistema solo-planta e tem sido usada como indicador da qualidade do solo. O uso de suas frações, matéria orgânica particulada (MOP) e matéria orgânica associada aos minerais (MAM), aliadas a técnicas isotópicas vem sendo amplamente utilizada para estudos da dinâmica do C em áreas cultivadas e como indicadores eficientes para detectar alterações no solo em função do manejo adotado (ROSOLEM et al., 2016; DUVAL et al., 2016).

Diante do exposto, tem-se verificado na literatura trabalhos que estudam o papel dos adubos verdes, conhecido como “coquetel vegetal”, sobre a produção de fitomassa e a cinética de decomposição e liberação de nutrientes no Vale do São Francisco em sistemas produtivos de mangueira irrigada (BRANDÃO et al., 2017; CUNHA et al., 2016; ANGELOTTI et al., 2011; PIMENTEL et al., 2011; GIONGO et al., 2011) e do meloeiro (SANTOS et al., 2018; PEREIRA FILHO et al., 2016). No entanto, pouco se sabe sobre seus efeitos nos fluxos superficiais de CO₂ e CH₄ e, o impacto na dinâmica da MOS, especialmente, suas frações MOP e MAM, no sequestro de C no solo.

Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a dinâmica da matéria orgânica e a emissão de C-CO₂ e C-CH₄ do solo em área cultivada com mangueira irrigada sem e com adubação verde no semiárido brasileiro.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A CULTURA DA MANGUEIRA (*Mangifera indica* L.) NO VALE DO SÃO FRANCISCO

O Vale do São Francisco, fronteira entre os estados da Bahia e Pernambuco, concentra o maior polo produtor de frutas irrigadas do País (CEPEA, 2017). O cultivo da mangueira (*Mangifera indica* L.) nessa região tem se destacado nos últimos anos como uma das mais importantes culturas para a economia nacional e local devido à exportação do fruto e mercado interno. Em 2017, a área plantada, no Vale do São Francisco, aumentou 5,5%, e tudo indica que uma nova expansão deve ocorrer em 2018, em virtude dos bons resultados obtidos com a atividade, com destaque para as exportações, representando 84% das exportações brasileiras de manga (CEPEA, 2017).

O Vale do São Francisco está inserido na região semiárida do Nordeste brasileiro, onde, conversão da caatinga em pomares de mangueira irrigada proporciona uma exploração agrícola contínua, com longo ciclo de cultivo, o que pode resultar em mudanças nos estoques de matéria orgânica do solo (MOS), consequentemente em sua sustentabilidade (CUNHA et al., 2016; SMITH et al., 2014).

Diante da expressiva extensão territorial tomada pelo cultivo de mangueira, é importante que se obtenha estratégias de manejo que possam elevar os estoques da matéria orgânica do solo (MOS) e, ao mesmo tempo, mitigar ações de elevado potencial de emissão de gases do efeito estufa (GEE), a exemplo do uso de plantas de cobertura, como adubos verdes.

2.2. ADUBAÇÃO VERDE

A adubação verde consiste em associar plantas de elevada produção de biomassa e rica em nutrientes em rotação, sucessão ou consorciação de culturas, deixando-as na superfície ou incorporadas ao solo, visando à proteção superficial deste solo e melhoria dos atributos físicos químicos e biológicos (DUVAL et al., 2016; FARIA et al., 2004).

O efeito residual dos adubos verdes, visando à manutenção e o aporte da matéria orgânica do solo (MOS) são de fundamental importância no Vale do Submédio São Francisco (GIONGO et al., 2011). Uma região com restrição hídrica, característica de ambientes semiáridos sob vegetação de caatinga resulta em baixa produção de biomassa vegetal implicando na redução do aporte de resíduos orgânicos aos solos arenosos e pobres em matéria orgânica (FARIA et al., 2007). As espécies mais usadas são leguminosas, que apresentam a capacidade de acumular nitrogênio pela fixação biológica de nitrogênio e as gramíneas, que por meio de seu sistema radicular podem melhorar a estrutura física do solo (BRANDÃO et al., 2017).

Além disso, gramíneas e leguminosas possuem diferentes relações C/N e a associação entre elas pode ser uma alternativa viável para as condições edafoclimáticas da região semiárida. As gramíneas possuem relação C/N mais alta e, conseqüentemente, taxa de decomposição mais lenta, enquanto as leguminosas possuem relação C/N mais baixa e taxa de decomposição mais rápida, permitindo manutenção da palhada na superfície do solo por maior espaço de tempo. Adicionalmente, dada à capacidade de fixar N_2 , as leguminosas são consideradas como o grupo funcional de plantas mais comum que influencia consistentemente a biota do solo (ZHAO et al., 2014).

Brandão et al. (2017), avaliando a produção de fitomassa seca de dois tipos de coquetéis vegetais nas entrelinhas de cultivo de mangueira em Petrolina-PE, observaram que houve aumento na produtividade de fitomassa independentemente da proporção entre as espécies gramíneas e leguminosas utilizadas, demonstrando que, a utilização desta prática de manejo no semiárido, contribui para o aporte de matéria orgânica no solo. Além disso, melhora a qualidade do solo através da liberação de nutrientes (GIONGO et al., 2011) e, promove aumento nos teores da MOS (FARIA et al., 2007).

Recentemente, Garcia-Franco et al. (2015) avaliando a eficiência de diferentes práticas agrícolas (preparo reduzido associado a adubação verde e plantio direto) no sequestro de C no solo numa região semiárida do sudoeste da Espanha, verificaram que o preparo reduzido associado a adubação verde promoveu maior sequestro de carbono na MOS comparado ao plantio direto, alcançando um incremento de 14%, mostrando-se como uma prática de manejo com potencial para a mitigação das alterações climáticas.

2.3. MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO (MOS)

A matéria orgânica do solo (MOS) compreende componentes vivos e não-vivos, sendo os vivos as raízes de plantas e os organismos do solo. Os não-vivos representam a matéria macrororgânica e inclui resíduos de plantas em diferentes estágios de decomposição, as substâncias húmicas e as não- húmicas (ROSOLEM et al., 2016).

A MOS é de suma importância para o ciclo do carbono (C), pois ela representa cerca de duas vezes os estoques de C da biomassa vegetal e da atmosfera (HARDEN et al., 2017). Além disso, o teor e a dinâmica do C nos diferentes compartimentos da MOS são os parâmetros que melhor representam a qualidade do solo (MARQUES et al., 2016; BERTOSSI et al., 2016; MARTINS et al., 2015) e podem ser alterados em função das práticas de manejo adotadas (CARDOSO et al., 2015). Os diferentes compartimentos da MOS apresentam características químicas, físicas e morfológicas diferentes entre si, e a distribuição dessas frações no solo pode indicar a qualidade da matéria orgânica (CARMO et al., 2012).

Dentre os compartimentos da MOS, as substâncias húmicas (SH) possuem maior recalcitrância e baixa taxa de ciclagem, sendo considerada o compartimento que mais contribui para a manutenção dos estoques de C e nitrogênio (N) no solo (GERKE, 2018; MARTINS et al., 2015). As SH são consideradas indicativas dos processos e do grau de humificação da MOS e, compreende as frações ácidos húmicos (FAH), ácidos fúlvicos (FAF) (fração solúvel em meio alcalino, de maior reatividade e maior polaridade) e fração humina (FH) (BARRETO et al., 2008). Diversos trabalhos demonstram que a FH é a mais abundante em solos cultivados com plantas de cobertura, enquanto as FAH e FAF variam de acordo com o manejo adotado e a profundidade do solo (LIMA et al., 2018; XU et al., 2017; ROSA et al., 2017; CUNHA et al., 2016). Cunha et al. (2016) mostraram que o cultivo de coquetéis vegetais (leguminosas e não leguminosas) na entrelinha da mangueira afetaram os teores de SH, o uso combinado de espécies de leguminosas, gramíneas e oleaginosas favoreceram maiores incrementos de C na FAF comparados a vegetação espontânea, dado ao maior aporte de resíduos vegetais ao solo.

A partir do fracionamento granulométrico da MOS, são obtidas as frações da matéria orgânica particulada (MOP) e da matéria orgânica associada aos minerais (MAM). A fração MOP e a fração mais lábil da MOS e, está associada a resíduos

aportados ao solo em estágios iniciais de decomposição podendo, assim, mostrar mudanças precoces no C do solo resultantes da inclusão de plantas de cobertura (DUVAL et al., 2016).

Lima et al. (2016) avaliando a influência do cultivo de milho (*Zea mays* L.) solteiro e combinado com mucuna-cinza (*Stizolobium niveum*) nos teores de C nas frações granulométrica da MOS em um Latossolo Vermelho, no setor de campos experimentais da Embrapa Hortaliças no Distrito Federal, verificaram maiores estoques de C na fração MOP em relação ao cultivo convencional na camada de 0-5 cm de profundidade dada a maior e produção de resíduos aportados ao solo.

Carmo et al. (2012) avaliando as frações granulométrica da MOS em solo de Cerrado numa área sob manejo de plantio direto com consorciação de milho e forrageiras observaram que o milho em monocultivo ou consorciado com *Brachiaria humidicola* promoveu aumento nos estoques de COT e nas frações MOP e MAM, tendo o Cerrado nativo como referência, nas camadas mais superficiais do solo. A estabilização da matéria orgânica na fração MAM é importante para a manutenção de maiores teores de COT no solo (LIMA et al., 2016).

De acordo com Carvalho et al. (2010), de todo o carbono orgânico do solo, uma parte considerável encontra-se em formas que são facilmente decompostas a exemplo da fração MOP, e quando práticas de manejo são realizadas inadequadamente ocorre facilmente a liberação de GEE (CO₂ e CH₄) para a atmosfera. Para Poeplau e Don (2015), os ganhos com sequestro e fixação de C em sistemas agrícolas dependerão da intensidade da utilização de práticas sequestradoras e da constância de uso da mesma, a exemplo da adubação verde.

A adoção de sistemas de manejo sem revolvimento do solo aliado ao alto aporte de resíduos vegetais resulta na retirada de CO₂ da atmosfera e sua retenção no solo, através da redução de C-CO₂ a C orgânico pela fotossíntese (BAYER et al., 2000). A utilização de culturas com alto aporte de resíduos e fixação de nitrogênio, a exemplo de leguminosas, nos sistemas produtivos é fundamental. Pois permite o aumento dos teores de MOS e diminuição das emissões de CO₂ do solo para a atmosfera (PRADO et al., 2010).

Chambers et al. (2016) afirmaram que práticas de conservação, como o uso de plantas de cobertura, apresentaram taxas de sequestro de C no solo variando entre 0,15 a 0,22 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de C. Em meta-análise, Poeplau e Don (2015) verificaram que, o tempo desde a introdução de plantas de cobertura nas rotações de culturas

foi correlacionado positivamente com mudança nos estoques de COT ($R^2 = 0,19$) com taxa de variação anual de $0,32 \pm 0,08$ Mg de C $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ em uma profundidade média de 22 cm.

Avaliações quantitativas como os estoques de C e fluxos de C-CO₂ do solo são essenciais para que se possa compreender os fatores que influenciam a dinâmica da MOS em determinado sistema de produção, possibilitando assim elaboração de estratégias e tomada de decisões que visem uma maior conservação e incrementos nos estoques de C no solo.

2.4. EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA (GEE)

O dióxido de carbono (CO₂) é o mais importante GEE emitido antropicamente, em quantidade. Aproximadamente 60% desse CO₂ é absorvido pelos oceanos e pela biosfera, os 40% restantes permanecem na atmosfera. No entanto, o CH₄ (metano) e o N₂O (óxido nitroso) apresentam potenciais de aquecimento global 23 e 296 vezes maiores que CO₂, respectivamente (IPCC, 2014).

Em 2009, o governo brasileiro lançou a Política Nacional sobre Mudanças Climáticas (PNMC) para evitar o agravamento das mudanças climáticas que já vêm ocorrendo (IPCC, 2014). A PNMC estabeleceu a meta de reduzir entre 36,1% e 38,9% das emissões de GEE projetadas até 2020 (SEEG, 2017).

Existem várias fontes de emissão de GEE, o que vem acarretando sérios problemas. No Brasil, 1.007.598.182 Mg de CO₂ equivalente, em 2014, estão relacionadas com a mudança do uso da terra, sendo a agricultura responsável por 77.461.185 Mg de CO₂ equivalente (SEEG, 2017). Com o aumento da emissão de GEE torna-se importante a busca por estratégias que visem à redução das fontes desses gases.

Estudo realizado por SANTOS et al. (2016) demonstraram que sistemas agrícolas ou condições de manejo, a exemplo da adubação verde, potencializaram ou mitigaram as emissões de GEE para a atmosfera. O uso de plantas de cobertura, como adubo verde, constitui uma prática conservacionista capaz de aumentar ou manter os estoques da matéria orgânica do solo (MOS), reduzindo a decomposição e, proporcionando maior balanço líquido de C nos solos (SHRESTHA et al., 2015).

Um dos principais mecanismos de sequestrar carbono no solo é através do aumento do conteúdo de matéria orgânica (PRADO et al., 2010). O solo atua como

fonte ou dreno de GEE (SOARES, 2009), porém, a magnitude das emissões destes gases depende do tipo, uso e sistema de cultivo adotado. Contudo, a atuação do solo como fonte ou dreno de GEE, dependerá do balanço entre a quantidade de material orgânico aportado ao solo, da conversão deste a MOS, da estabilização da MOS e do que é perdido por meio de respiração autotrófica e heterotrófica (SOARES, 2009).

Para Carvalho et al. (2010), a utilização de práticas de manejo adequadas do solo, visando a manutenção ou mesmo o acúmulo de C no sistema solo-planta, podem atenuar os efeitos do aquecimento global. Diversos trabalhos têm verificado que o uso de plantas de cobertura, como adubos verdes, mantem/aumentam os estoques de C nos diferentes compartimentos da MOS, nestes sistemas de manejo, o solo atua como um sumidouro de C, contribuindo para a mitigação das emissões de C-CO₂ para a atmosfera (SHARMA et al., 2017; BENNETZEN et al., 2016; DUVAL et al., 2016; BAYER., et al 2016; POEPLAU e DON (2015).

Na região do Vale do Submédio São Francisco, estudos relacionando a dinâmica do C nos diferentes compartimentos da MOS e as emissões de GEE o em cultivos de mangueira irrigada associada à adubação verde ainda não foram desenvolvidos, os quais são essenciais para a compreensão desses sistemas. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo avançar na compreensão do sequestro de C no solo como estratégias de mitigar as emissões dos GEE em cultivos de mangueira irrigada associada à adubação verde no semiárido brasileiro. Com este intuito, o presente trabalho foi composto de dois artigos: *i)* Fluxos de CO₂ e CH₄ em solo sob cultivo de mangueira associado com adubação verde no semiárido *ii)*. Dinâmica da matéria orgânica em solo sob cultivo de mangueira associado com adubação verde no semiárido.

2.5. REFERÊNCIAS

ANGELOTTI, F.; FERNANDES JUNIOR, P. I. & SA, I. D. Mudanças climáticas no Semiárido brasileiro: medidas de mitigação e adaptação. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 6, p. 1097-1111, 2011.

BARRETO, A. C.; FREIRE, M. B. G. D. S.; NACIF, P. G. S.; ARAÚJO, Q. R.; FREIRE, F. J. & INÁCIO, E. D. S. B. Fracionamento químico e físico do carbono

orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1471-1478, 2008.

BAYER, C.; GOMES, J.; ZANATTA, J. A.; VIEIRA, F. C. B. & DIECKOW, J. Mitigating greenhouse gas emissions from a subtropical Ultisol by using long-term no-tillage in combination with legume cover crops. **Soil and Tillage Research**, v. 161, p. 86-94, 2016.

BAYER, C.; AMADO, T. J. C.; TORNQUIST, C. G.; CERRI, C. E. P.; DIECKOW, J.; ZANATTA, J. A. & NICOLOSO, R. S. Estabilização do carbono no solo e mitigação das emissões de gases de efeito estufa na agricultura conservacionista. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 7, p. 55-118, 2011.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T. J.; MARTIN-NETO, L. & FERNANDES, S. V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil and tillage research**, v. 54, n. 1-2, p. 101-109, 2000.

BENNETZEN, E. H.; SMITH, P. & PORTER, J. R. Agricultural production and greenhouse gas emissions from world regions—The major trends over 40 years. **Global Environmental Change**, v. 37, p. 43-55, 2016.

BERTOSSI, A. P. A.; ROCHA JÚNIOR, P. R. D.; RIBEIRO, P. H.; MENEZES, J. P. C. D.; CECÍLIO, R. A. & ANDRADE, F. V. Soil cover and chemical and physical attributes in Oxisol In the Atlantic Forest biome. **Revista Árvore**, v. 40, n. 2, p. 219-228, 2016.

BRANDÃO, S. S.; GIONGO, V.; OLSZEWSKI, N. & SALVIANO, A. M. Coquetéis vegetais e sistemas de manejo alterando a qualidade do solo e produtividade da mangueira. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 4, p. 1079-1089, 2017.

CARDOSO, J. A. F.; LIMA, A. M. N.; CUNHA, T. J. F.; RODRIGUES, M. S.; HERNANI, L. C.; AMARAL, A. J. D. & OLIVEIRA NETO, M. B. D. Organic matter fractions in a Quartzipsamment under cultivation of irrigated mango in the lower São Francisco Valley region, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 4, p. 1068-1078, 2015.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R. D. & CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 277-290, 2010.

CARMO, F. F.; FIGUEIREDO, C. C.; RAMOS, M. L. G.; VIVALDI, L. J. & ARAÚJO, L. G. Frações granulométricas da matéria orgânica em Latossolo sob plantio direto com gramíneas. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 3, p. 420-431, 2012.

CEPEA. **Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada**. 2017. Disponível em: <<http://www.hfbrasil.org.br/br/revista/acessar/completo/anuario-2017-2018.aspx>>. Acesso em março de 2018.

CHAMBERS, A.; LAL, R. & PAUSTIAN, K. Soil carbon sequestration potential of US croplands and grasslands: Implementing the 4 per Thousand Initiative. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 71, n. 3, p. 68A-74A, 2016.

CUNHA, T. J. F.; GIONGO, V.; SALVIANO, A. M.; MARQUES, F. A. & CANELLAS, L. P. Frações humificadas da matéria orgânica em função do cultivo de coquetéis vegetais. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 3, p. 578-586, 2016.

DUVAL, M. E.; GALANTINI, J. A.; CAPURRO, J. E. & MARTINEZ, J. M. Winter cover crops in soybean monoculture: Effects on soil organic carbon and its fractions. **Soil and Tillage Research**, v. 161, p. 95-105, 2016.

FARIA, C. M. B.; COSTA, N. D.; FARIA, A. F. Atributos químicos de um Argissolo e rendimento de melão mediante o uso de adubos verdes, calagem e adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n.2, p. 299-307, 2007.

FARIA, C. M. B.; SOARES, J. M.; LEÃO P. C. S. Adubação verde com leguminosas em videira no Submédio São Francisco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 4, p. 641-648, 2004.

FERREIRA, C. R. P. C.; ANTONINO, A. C. D.; SAMPAIO, E. V. D. S. B.; CORREIA, K. G.; LIMA, J. R. D. S.; SOARES, W. D. A. & MENEZES, R. S. C. Soil CO₂ efflux measurements by alkali absorption and Infrared gas analyzer in the Brazilian semiarid region. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, 2018.

GARCIA-FRANCO, N.; ALBALADEJO, J.; ALMAGRO, M. & MARTÍNEZ-MENA, M. Beneficial effects of reduced tillage and green manure on soil aggregation and stabilization of organic carbon in a Mediterranean agroecosystem. **Soil and Tillage Research**, v. 153, p. 66-75, 2015.

GERKE, J. Concepts and misconceptions of humic substances as the stable part of soil organic matter: a review. **Agronomy**, v. 8, n. 5, p. 76, 2018.

GIONGO, V.; MENDES, A. M. S.; CUNHA, T. J.F. & GALVÃO, S. R. S. Decomposição e liberação de nutrientes de coquetéis vegetais para utilização no semiárido brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 3, p. 611-618, 2011.

HARDEN, J. W.; SANDERMAN, J. & HUGELIUS, G. **Soils and the Carbon Cycle**. In International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology, Environment and Technology, 2017. 14p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2014. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: março de 2016.

IPCC. Intergovernmental panel on climate change. 2014. **Climate change 2014: mitigation of climate change**. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY USA. 161p.

LIMA, C. E.; DA SILVA, J.; ALCÂNTARA, F. A.; MADEIRA, N. R.; CARVALHO, A. D. & FONTENELLE, M. R. Effects of five years adoption of no-tillage systems for vegetables crops in soil organic matter contents. **Agricultural Sciences**, v. 9, n. 01, p. 117, 2018.

LIMA, C. E. P.; FONTENELLE, M. R.; MADEIRA, N. R.; SILVA, J.; GUEDES, Í. M. R.; SILVA, L. R. B. & SOARES, D. C. Compartimentos de carbono orgânico em Latossolo cultivado com hortaliças sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 4, p. 378-387, 2016.

MARQUES, J. D. D. O.; LUIZÃO, F. J.; TEIXEIRA, W. G.; VITEL, C. M. & MARQUES, E. M. D. A. Soil organic carbon, carbon stock and their relationships to physical attributes under forest soils in central Amazonia. **Revista Árvore**, v. 40, n. 2, p. 197-208, 2016.

MARTINS, C. M.; COSTA, L. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SOARES, E. M. B. & SANTOS, S. R. Frações da matéria orgânica em solos sob formações decíduais no norte de Minas Gerais. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 4, p. 10-20, 2015.

MATA, M. D. V. M.; HOELZEMANN, J. J.; SOUSA NETO, E. R.; AGUIAR, A. P. D.; VIEIRA, R. M. D. S. P.; ASSIS, T. O. & OMETTO, J. P. H. B. Emissões de CO₂ provenientes do uso e mudanças no uso da terra no bioma Caatinga no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 1, p. 144-155, 2015.

McCOURTY, M. A.; GYAWALI, A. J. & STEWART, R. D. Of macropores and tillage: influence of biomass incorporation on cover crop decomposition and soil respiration. **Soil Use and Management**, v. 34, n. 1, p. 101-110, 2018.

MENDES, A. M. S.; GIONGO, V.; SILVA, D. J.; CUNHA, T. J. F.; SILVA, M. S. L. & GALVÃO, S. R. da S. Processo de decomposição e liberação de nutrientes de coquetéis vegetais no cultivo de mangueiras no Semiárido Brasileiro. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011. 24p.

PEREIRA FILHO, A.; TEIXEIRA FILHO, J. E.; GIONGO, V.; SIMOES, W. L. & LAL, R. Nutrients dynamics in soil solution at the outset of no-till implementation with the use of plant cocktails in Brazilian semi-arid. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 4, p. 234-246, 2016.

PIMENTEL, M. S.; CARVALHO, R. S.; MARTINS, L. M. V. & DA SILVA, A. V. L. Sazonalidade de resposta de bioindicadores edáficos utilizando adubação verde no semiárido brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 829-836, 2011.

POEPLAU, C. & DON, A. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops—A meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 200, p. 33-41, 2015.

PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; ANDRADE, A. G. **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2010. 486p.

RIBEIRO, K.; SOUSA-NETO, E. R.; CARVALHO JUNIOR, J. A.; LIMA, J. R. S.; MENEZES, R. S. C.; DUARTE-NETO, P. J. & OMETTO, J. P. H. B. Land cover changes and greenhouse gas emissions in two different soil covers in the Brazilian Caatinga. **Science of The Total Environment**, v. 571, p. 1048-1057, 2016.

ROSOLEM, C. A.; LI, Y. & GARCIA, R. A. Soil carbon as affected by cover crops under no-till under tropical climate. **Soil Use and Management**, v. 32, n. 4, p. 495-503, 2016.

SANTOS, T. L.; NUNES, A. B. A.; GIONGO, V.; DA SILVA BARROS, V. & FIGUEIRÊDO, M. C. B. Cleaner fruit production with green manure: The case of Brazilian melons. **Journal of Cleaner Production**, v. 181, p. 260-270, 2018.

SANTOS, R. C.; CASTRO, R. V. O.; CARNEIRO, A. D. C. O.; CASTRO, A. F. N. M.; PIMENTA, A. S.; PINTO, E. M. & MARINHO, I. V. Estoques de volume, biomassa e

carbono na madeira de espécies da Caatinga em Caicó, RN. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 85, p. 1-7, 2016.

SANTOS, S. A.; CORREIA, M. F.; ARAGAO, M. R. S.; SILVA, P. K. O. Aspectos da variabilidade sazonal da radiação, fluxos de energia e CO₂ em área de Caatinga. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, p. 761-773, 2012.

SEEG. **Sistema de Estimativas de Gases de Efeito Estufa**. 2017. Emissões do setor de mudança do uso da terra, 1990- 2015. Disponível em: <http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2017/08/Relatorios-Seeg-2017_MUT_final.pdf>. Acesso em: Maio de 2018.

SHRESTHA, B. M.; SINGH, B. R.; FORTE, C. & CERTINI, G. Long-term effects of tillage, nutrient application and crop rotation on soil organic matter quality assessed by NMR spectroscopy. **Soil use and management**, v. 31, n. 3, p. 358-366, 2015.

SHARMA, P.; LAOR, Y.; RAVIV, M.; MEDINA, S.; SAADI, I.; KRASNOVSKY, A. & BORISOVER, M. Green manure as part of organic management cycle: Effects on changes in organic matter characteristics across the soil profile. **Geoderma**, v. 305, p. 197-207, 2017.

SMITH, S. F.; BRYE, K. R.; GBUR, E. E.; CHEN, P. & KORTH, K. Residue and water management effects on aggregate stability and aggregate-associated carbon and nitrogen in a wheat–soybean, double-crop system. **Soil Science Society of America Journal**, v. 78, n. 4, p. 1378-1391, 2014.

SOARES, E. M. B. **Frações da matéria orgânica e composição molecular de substâncias húmicas de solos sob cultivo de eucalipto em biomas distintos**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa. Tese de Doutorado, 2009. 136p.

ZHAO, J.; WANG, X.; WANG, X. & FU, S. Legume-soil interactions: legume addition enhances the complexity of the soil food web. **Plant and soil**, v. 385, n. 1-2, p. 273-286, 2014.

XU, J.; ZHAO, B.; CHU, W.; MAO, J. & ZHANG, J. Chemical nature of humic substances in two typical Chinese soils (upland vs paddy soil): A comparative advanced solid state NMR study. **Science of the Total Environment**, v. 576, p. 444-452, 2017.

3. ARTIGO 1: Fluxos de CO₂ e CH₄ em solo sob cultivo de mangueira associado com adubação verde no semiárido

RESUMO

A quantificação dos fluxos superficiais de C-CO₂ e C-CH₄ do solo em campo podem gerar informações importantes quanto ao potencial de sequestro de C no solo e a sustentabilidade de manejos adotados nos cultivos de mangueira na região semiárida brasileira. Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a emissão de gases de efeito estufa em área cultivada com mangueira irrigada sem e com adubação verde em Petrolina-PE. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, sendo os tratamentos compostos por diferentes tipos de coberturas vegetais com espécies de leguminosas (L) e gramíneas (G), com quatro repetições: Guandu (*Cajanus cajan* L.) – L; Milheto (*Penisetum americanum* L.) – G; Guandu + Milheto – L+G; Guandu + Crotalária (*Crotalaria juncea* L.) + Milheto + Sorgo (*Sorghum vulgare* Pers.) – 2L+2G; Guandu + Milheto + Milho (*Zea mays* L.) + Sorgo – L+3G; Guandu + Crotalária + Feijão-de-Porco (*Canavalia ensiformes*) + Milheto – 3L+G; Vegetação espontânea – VE; e Sem cobertura vegetal (testemunha absoluta) – SCV. As coletas de gases (C-CO₂ e C-CH₄) foram realizadas durante quatro momentos ao longo de um ano, sendo: 45, 75, 266 e 365 dias após a semeadura (DAS) dos adubos verdes. Foi realizado, também, o particionamento dos fluxos superficiais totais de C-CO₂ em fluxos superficiais de C-CO₂ derivados dos adubos verdes e derivado do solo, usando as diferenças nas assinaturas isotópicas de δ¹³C, além do efeito priming, temperatura e umidade do solo. Além disso, foram determinados os teores de C da biomassa microbiana nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade. Os diferentes adubos verdes tiveram efeito significativo (p < 0,05) nas emissões de C-CO₂ do solo em cada época de avaliação, onde os adubos verdes 2L+2G, L+3G e VE apresentaram os maiores fluxos aos 365 DAS com médias de 51,7 ± 5,1; 69,4 ± 4,1 e 63,5 ± 10,3 mg h⁻¹ m⁻², respectivamente. A maior contribuição para o fluxo superficial total C-CO₂ foi do adubo verde (18,94 mg h⁻¹ m⁻²) (p < 0,01; r = 0,73) em relação ao fluxo superficial de C-CO₂ derivado do solo (15,73 mg h⁻¹ m⁻²). Houve grande variabilidade nos fluxos de C-CH₄ entre emissões e absorção com variações entre -0,069 ± 0,003 e 0,058 ± 0,009 mg h⁻¹ m⁻². Para as condições em que o trabalho foi desenvolvido, a adoção da prática de adubação verde nas entrelinhas de cultivo de mangueira irrigada favorece o efeito priming negativo do C do solo, sendo uma importante estratégia de manejo para o sequestro de C no solo.

Palavras-chave: Plantas de cobertura. Dióxido de carbono. Metano. Efeito priming. *Mangifera indica* L.

ABSTRACT

Quantification of surface fluxes of soil C-CO₂ and C-CH₄ at field can provide important information about the potential of C sequestration in the soil and sustainability of managements adopted in mango orchards in the Brazilian semi-arid region. Thus, the present study aimed to evaluate the emission of greenhouse gases in area under irrigated mango cultivation with and without green manure in Petrolina-PE, Brazil. The experimental design was randomized blocks and treatments consisted of different types of vegetation cover with leguminous (L) and grass (G) species, in four replicates: Pigeon pea (*Cajanus cajan* L.) – L; Millet (*Penisetum americanum* L.) – G; Pigeon pea + Millet – L+G; Pigeon pea + Brown hemp (*Crotalaria juncea* L.) + Millet + Sorghum (*Sorghum vulgare* Pers.) – 2L+2G; Pigeon pea + Millet + Corn (*Zea mays* L.) + Sorghum – L+3G; Pigeon pea + Brown hemp + Jack bean (*Canavalia ensiformes*) + Millet – 3L+G; spontaneous vegetation – SV; and absence of vegetation cover - AVC. Gas collections (C-CO₂ and C-CH₄) were carried out at four times over one year: 45, 75, 266 and 365 days after sowing (DAS) of green manure crops. Partitioning of total surface fluxes of C-CO₂ into surface fluxes of C-CO₂ derived from green manure crops and derived from soil was also carried out using the differences in δ¹³C isotopic signatures, besides priming effect, temperature and soil moisture. In addition, C contents in the microbial biomass were determined in the 0-10, 10-20 and 20-40 cm layers. The different green manure crops had significant effect (p < 0.05) on soil C-CO₂ emissions in each evaluation period, and the treatments 2L+2G, L+3G and SV had the highest fluxes at 365 DAS, with means of 51.7 ± 5.1, 69.4 ± 4.1 and 63.5 ± 10.3 mg h⁻¹ m⁻², respectively. Greater contribution to total surface flux of C-CO₂ came from green manure (18.94 mg h⁻¹ m⁻²) (p < 0.01; r = 0.73), compared with the surface flux of C-CO₂ derived from the soil (15.73 mg h⁻¹ m⁻²). There was wide variability in C-CH₄ between emissions and absorption, with variations between -0.069 ± 0.003 and 0.058 ± 0.009 mg h⁻¹ m⁻². For the conditions of the study, adopting the practice of green manure cultivation in irrigated mango interrows favors negative priming effect of soil C, being an important management strategy for C sequestration in the soil.

Keywords: Cover crops. Carbon dioxide. Methane. Priming effect. *Mangifera indica* L.

3.1. INTRODUÇÃO

O Vale do São Francisco, região semiárida, apresentou aproximadamente 27.000 ha de área destinada à colheita de manga no ano de 2017, e tudo indica que uma expansão deve ocorrer em 2018, em virtude dos bons resultados obtidos com a atividade, com destaque para as exportações (CEPEA, 2017). Diante da expressiva extensão territorial tomada pelo cultivo de mangueira, é importante que se obtenha estratégias de manejo que possam mitigar ações de elevado potencial de emissão de gases do efeito estufa (GEE) e, ao mesmo tempo, aumentar os estoques de C orgânico no solo.

O semiárido brasileiro é caracterizado por apresentar elevadas temperaturas, baixa precipitação e produção de biomassa (MAIA et al., 2006), o que resulta em baixo acúmulo de C na matéria orgânica do solo (MOS). Por outro lado, em áreas de mangueira irrigada, onde as temperaturas são elevadas e há disponibilidade de água da irrigação, a mineralização da MOS é favorecida, contribuindo para emissão dos GEE (CUNHA et al., 2016; GIONGO et al., 2011).

Aproximadamente, cerca de 1500 Petagramas de C são armazenados no solo (SCHARLEMANN et al., 2014). Para entender o contexto do aumento dos níveis de CO₂ atmosférico, há muito interesse em saber se o solo atua como fonte ou dreno de C (MAJUMDER et al., 2018; IPCC 2014). As perdas de C a partir do solo podem ser mitigadas pela adoção de práticas de manejo conservacionista, tais como o uso de adubos verdes (LAL, 2015).

O uso da adubação verde envolve a combinação de diferentes espécies de leguminosas e gramíneas, e tem despertado cada vez mais o interesse dos agricultores no Vale do São Francisco. Por outro lado, pouco se sabe sobre as alterações na quantidade da MOS e, conseqüentemente, na emissão de CO₂ e CH₄ pelo uso contínuo desta prática de manejo nos pomares da mangueira irrigada. Em virtude da sua maior relação C/N, o que causa menor taxa de decomposição, acredita-se que o uso de adubação verde com maiores proporções de gramíneas favoreçam aumento dos estoques de C da MOS (contribuindo para o processo de humificação) e redução nas emissões dos GEE.

O processo de emissão de CO₂ do solo está associado principalmente à respiração das raízes, decomposição dos resíduos vegetais e oxidação da MOS (LAL, 2009; KUZUYAKOV, 2006). Por outro lado, é previsto que, o crescimento da

planta, a deposição de exsudatos radiculares, deposição de resíduo vegetal e a biomassa das raízes aumentem a entrada de C para os solos (LIU et al., 2017). Esse aumento da entrada de C pode acelerar a decomposição da MOS nativa, fenômeno conhecido como efeito priming positivo (LIU et al., 2017; BLAGODATSKAYA et al., 2011; KUZUYAKOV, 2010; FONTAINE et al., 2003; KUZUYAKOV et al., 2000). De acordo com Luo et al. (2017), a adição de resíduos vegetais ao solo pode afetar tanto a direção quanto a magnitude do efeito priming, e dependem do tipo de planta e do solo (SUN et al., 2015), o que pode retardar ou acelerar a mineralização da MOS (HAMER e MARSCHNER, 2005) e alterar os fluxos de GEE.

No solo, compostos lábeis podem causar efeito priming positivo, isto é, liberação de CO₂ adicional por mineralização acelerada da MOS nativa (SHAHBAZ et al., 2017). Conseqüentemente, mudanças na composição química dos resíduos entrando no solo tem o potencial de alterar significativamente as características da MOS, incluindo interações organo-minerais, na dinâmica da estabilização do C no solo e nas emissões de CO₂ do solo para a atmosfera (WICKINGS et al., 2012). As emissões de CO₂ e CH₄ são indicadores iniciais de potenciais mudanças no armazenamento do C orgânico do solo (TEIXEIRA, 2017), sendo a temperatura e a umidade do solo as variáveis que melhor explicam as mudanças nas emissões de CO₂ do solo (RIBEIRO et al., 2016).

Não há informações sobre as alterações dos fluxos superficiais de C-CO₂ e C-CH₄ causadas pelo uso de adubos verdes em área de mangueira irrigada no semiárido brasileiro, justificando assim o seu estudo. Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar os fluxos superficiais de C-CO₂ e C-CH₄ em solo sob cultivo de mangueira irrigada associada a diferentes adubos verdes em Petrolina-PE.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1. Descrição da área de estudo

O experimento foi desenvolvido em pomar de mangueira irrigada localizado no Campus Ciências Agrárias da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), município de Petrolina – PE (09° 11' 43,5" S e 41° 01' 59,2" O; 400,3 m

de elevação). O clima local é classificado como BSh' (semiárido), segundo a classificação proposta por Köppen, com período chuvoso entre os meses de janeiro e abril e médias de temperatura e pluviosidade durante o período experimental de 27,1 °C e 14,5 mm, respectivamente (Figura 1).

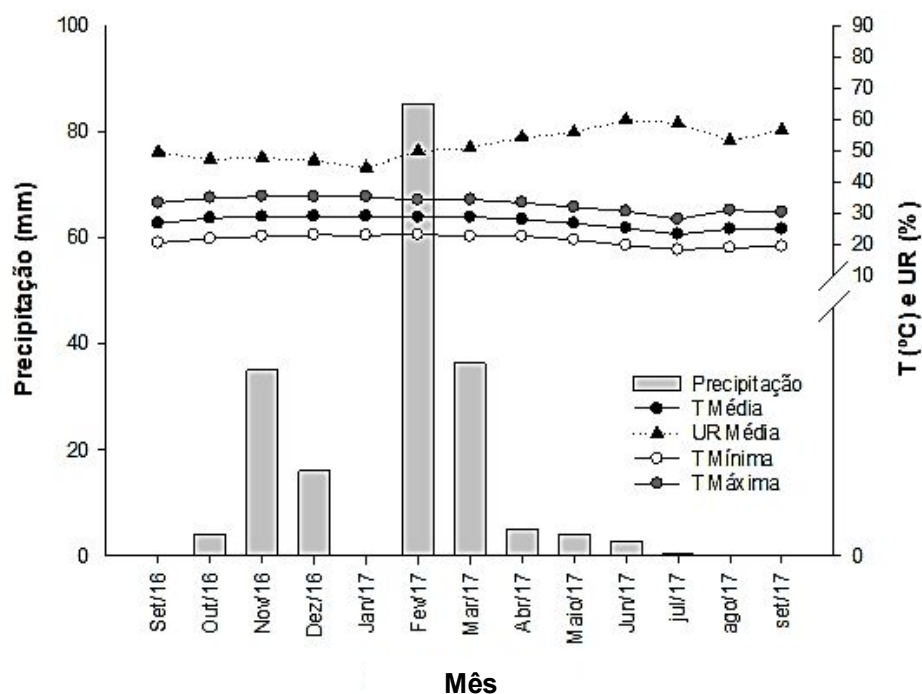


Figura 1. Temperatura mínima, média e máxima (T. °C), precipitação pluviométrica (mm) e umidade relativa do ar (UR. %) durante a realização do experimento.

O solo da área foi classificado como Argissolo Amarelo eutrocoeso típico de textura arenosa (SILVA et al., 2017), cuja composição química e física está apresentada na Tabela 1 e a caracterização das frações da matéria orgânica do solo, matéria orgânica particulada (MOP) e matéria orgânica associada aos minerais (MAM) na Tabela 2.

Tabela 1. Atributos químicos e físicos do Argissolo Amarelo eutrocoeso típico antes da implantação do experimento.

Profundidades	pH	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	CTC	P	CEes	Areia	Silte	Argila	Pt	Dp	Ds
cm		-----mmol _c dm ⁻³ -----							mg dm ⁻³	μS cm ⁻¹	-----g kg ⁻¹ -----			%	----g cm ⁻³ ----		
0-10	7,45	0,43	4,01	7,43	20,36	0,00	0,00	32,23	32,23	231,78	205,5	840,9	10,3	130,8	34,00	2,77	1,69
10-20	7,58	0,43	5,37	8,58	18,47	0,00	0,00	32,86	32,86	160,46	160,5	770,9	30,5	180,5	28,00	2,79	1,80
20-40	7,45	0,43	7,84	8,87	14,83	0,00	0,00	31,98	31,98	38,37	103,00	720,1	50,2	220,7	29,00	2,78	1,66

pH em água (1:2,5); Mg²⁺, Ca²⁺ e Al³⁺: KCl 1 mol L⁻¹; Na⁺, P e K⁺: Mehlich-1; H+Al (acidez potencial), acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0; SB: soma de bases (Na⁺+K⁺+Mg²⁺+Ca²⁺); CTC: Capacidade de troca de cátions (SB + Al³⁺) (SILVA, 2009); Análise granulométrica pelo método da pipeta (RUIZ et al., 2005); CEes: condutividade elétrica; Pt: porosidade total; Dp: densidade de partícula; Ds: densidade do solo (DONAGEMA et al., 2011).

Tabela 2. Estoques de C, N, relação C/N e abundância natural de ^{13}C ($\delta^{13}\text{C}$) das frações da matéria orgânica do solo particulada (MOP) e associada aos minerais (MAM) antes da instalação do experimento.

Profundidade (cm)	MOP				MAM			
	C	N	C/N	$\delta^{13}\text{C}$	C	N	C/N	$\delta^{13}\text{C}$
	----Mg ha ⁻¹ ----			‰	----Mg ha ⁻¹ ----			‰
0-10	0,93	nd	-	-25,4	3,3	0,42	7,8	-19,5
10-20	0,66	nd	-	-25,4	3,8	0,39	9,9	-20,9
20-40	0,54	nd	-	-22,2	3,2	0,33	9,7	-19,8

MAM e MOP (Cambardella e Elliott, 1992); C, N e $\delta^{13}\text{C}$ (determinados por combustão via seca e espectrometria de massa de razão isotópica); nd- não detectado.

3.2.2. Estabelecimento e condução experimental

O delineamento experimental foi disposto em blocos ao acaso com quatro repetições, sendo os tratamentos compostos por diferentes tipos de coberturas vegetais com espécies de leguminosas (L) e gramíneas (G): Guandu (*Cajanus cajan* L.) – L; Milheto (*Penisetum americanum* L.) – G; Guandu + Milheto – L+G; Guandu + Crotalária (*Crotalaria juncea* L.) + Milheto + Sorgo (*Sorghum vulgare* Pers.) – 2L+2G; Guandu + Milheto + Milho (*Zea mays* L.) + Sorgo – L+3G; Guandu + Crotalária + Feijão-de-Porco (*Canavalia ensiformes*) + Milheto – 3L+G; vegetação espontânea – VE; e sem cobertura vegetal (testemunha absoluta) – SCV.

As principais espécies de plantas identificadas nas parcelas sob vegetação espontânea foram: *Ricinus communis*, *Cenchrus ciliaries*, *Waltheria indica*, *Kallstroemia tribuloides*, *Herissantia crista*, *Desmodium tortuosum*, *Diodella teres*, *Richardia scabra*, *Mollugo verticillata*, *Datura stramonium*, *Macroptilium marti*, *Merremia aegyptia* e *Boerhavia diffusa*.

Antes da semeadura das plantas de cobertura, realizou-se o preparo do solo, com uma aração e uma gradagem na profundidade de 20 cm na entrelinha da mangueira. Posteriormente, o sistema de irrigação por microaspersão foi instalado, em área total, nas linhas de mangueiras, e por gotejamento para suplementação hídrica das plantas de cobertura, nas entrelinhas. A lâmina de irrigação foi calculada utilizando-se a evapotranspiração corrigida para a irrigação localizada, obtida pelo produto da evapotranspiração potencial da cultura e o coeficiente de irrigação

localizada, utilizando a evapotranspiração de referência para o município de Petrolina-PE (SOUZA et al., 2014).

A semeadura dos coquetéis vegetais foi realizada em setembro de 2016 por meio do sulcamento nas parcelas experimentais. O espaçamento das linhas de semeadura foi de 60 cm, sendo a primeira linha localizada a 100 cm da base do caule da mangueira, totalizando 6 linhas de coquetéis vegetais em cada entrelinha da mangueira. Para garantir a uniformidade de germinação das sementes, inicialmente, foram semeadas as de maior tamanho, na profundidade de 4 cm e, posteriormente, as de menor tamanho, na profundidade de 2 cm (Tabela 3).

Tabela 3. Quantidade de sementes das espécies de adubos verdes utilizadas na composição dos tratamentos.

Tratamentos	Guandu	Milheto	Sorgo	Crotalária	Milho	Feijão-de-porco
 g parcela ⁻¹					
L	480					
G		1320				
L+G	480	1320				
2L+2G	480	1320	600	600		
L+3G	480	1320		600	360	
3L+G	480	1320		600		120

Durante a fase inicial de desenvolvimento das plantas de cobertura e até o momento da floração, foi feita uma capina manual nas parcelas das plantas de cobertura, com exceção da área com vegetação espontânea (VE), para a remoção das plantas espontâneas. Esta prática foi realizada com o objetivo de minimizar a deposição do material vegetal oriundo destas plantas sobre o solo, antes do corte, para que não influenciasses na ciclagem de nutrientes e nos estoques de C do solo.

A capina foi feita logo que as plantas espontâneas começaram a germinar e, os resíduos foram retirados da área. Assim, todo material vegetal depositado na superfície do solo foi proveniente da fitomassa das plantas de cobertura. Nas parcelas experimentais sem cobertura vegetal (SCV) a capina foi realizada a medida que a vegetação espontânea crescia.

Aos 45 dias após a semeadura (DAS) dos adubos verdes, em cada parcela experimental, anéis cilíndricos de PVC (20 cm de diâmetro e 35 cm de altura) foram inseridos no solo a 25 cm de profundidade para posteriores coletas de gases.

Quando as plantas de cobertura estavam em estágio de pleno florescimento (75 DAS), a fitomassa foi cortada rente ao solo e depositada na superfície do solo. Subamostras foram levadas para laboratório para a determinação da matéria seca (MS), teores de C, N e $\delta^{13}\text{C}$ determinado por combustão da matéria orgânica em espectrômetro de massa de razão isotópica de fluxo contínuo IRMS, ANCA GSL 20-20, Sercon, Crewe, UK. (Tabela 4). O corte das plantas foi realizado por meio de roçadeira hidráulica de facas.

Tabela 4. Produtividade de fitomassa dos adubos verdes e teores de carbono (C), nitrogênio (N), relação C/N e abundância natural de ^{13}C ($\delta^{13}\text{C}$).

Tratamentos	Fitomassa seca [†]	$\delta^{13}\text{C}^*$	C*	N*	C/N
	Mg ha ⁻¹	‰	g kg ⁻¹		
Guandu (L)	2,82	-29,00	442,1	33,0	15,6
Milheto (G)	7,88	-12,00	405,7	16,6	28,5
Guandu + Milheto (L+G)	7,35	-20,00	427,8	20,8	24,0
Guandu + Crotalária + Milheto + Sorgo (2L+2G)	10,37	-25,00	449,8	19,9	26,3
Guandu + Milheto + Milho + Sorgo (L+3G)	9,43	-19,00	422,3	18,5	26,6
Guandu + Crotalária + Feijão-de-Porco + Milheto (3L+G)	9,10	-24,00	422,4	28,6	18,4
Vegetação espontânea (VE)	1,90	-23,00	405,8	16,6	28,5

[†]Amostragem de fitomassa para o primeiro corte (75 DAS), *Determinação realizada por espectrômetro de massa de razão isotópica de fluxo contínuo (IRMS, ANCA GSL 20-20, Sercon, Crewe, UK).

O transplântio das mudas de mangueira cv. Palmer (hipobioto: manga rosa), foi realizado no espaçamento de 5,0 x 4,0 m, 55 dias após o corte das plantas de cobertura (utilizadas como adubos verdes). A área experimental foi anteriormente ocupada com remanescente de caatinga e, como adubação de plantio das mangueiras, foi realizada apenas a aplicação de 20 litros cova⁻¹ de esterco bovino curtido.

3.2.3. Coleta e determinação dos fluxos superficiais totais de C-CO₂, C-CH₄ e da $\delta^{13}\text{C}$ -CO₂

As coletas de gases foram realizadas durante quatro momentos ao longo de um ano: i) aos 45 DAS dos adubos verdes; ii) aos 75 DAS dos adubos verdes, logo após o corte da fitomassa; iii) aos 266 DAS dos adubos verdes, seis meses após o corte da fitomassa e, iv) aos 365 DAS dos adubos verdes, dez meses após o corte da fitomassa. Além disso, simultaneamente a cada coleta de gases, foi determinada

a temperatura e umidade do solo a 5 cm de profundidade e coletadas amostras de solo nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm para determinação dos teores de C e N da biomassa microbiana pelo método da irradiação-extração, conforme procedimento descrito por Mendonça e Matos (2005).

Em cada parcela experimental, foi inserido no solo um anel cilíndrico de PVC (câmara de PVC estática) com 20 cm de diâmetro e 35 cm de altura, a 25 cm de profundidade. Para a coleta de gás, caps de PVC possuindo um septo central foram acoplados as câmaras de PVC e coletadas 4 amostras gasosas por meio de seringas (60 mL) em tempos crescentes (0, 10, 20 e 40 minutos) em cada unidade experimental.

As concentrações de CO₂, CH₄ e a razão isotópica do ¹³C-CO₂ (δ¹³C) foram determinadas por meio de espectroscopia em analisador de gases do tipo Cavity Ring-Down Spectroscopy (CRDS, G2131-i, Picarro, Sunnyvale, CA).

Os fluxos de gases foram calculados a partir da variação da concentração ao longo do tempo de amostragem, conforme equação 1:

$$F = \frac{[(\Delta Q/\Delta t) \times M \times P \times V]}{R \times T \times A} \quad \text{Equação 1.}$$

Onde, F é o fluxo superficial total de C-CO₂ ou C-CH₄ (mg h⁻¹ m⁻²); $\Delta Q/\Delta t$: o coeficiente angular da reta ajustada (mg g⁻¹) por t (min); M : a massa molar do C (g mol⁻¹); P : pressão no interior da câmara, assumindo ser de 1 atmosfera (atm); V : volume da câmara (L); R : constante universal dos gases (0,08205 L atm K⁻¹ mol⁻¹); T : temperatura do solo (K); A : área basal da câmara de PVC (m²).

O método de “Keeling plot” (KEELING, 1958) foi utilizado para determinar o δ¹³C-CO₂ dos fluxos superficiais de C-CO₂, a partir do ajuste do modelo de regressão linear entre o inverso da concentração de CO₂ (eixo x), durante os intervalos amostrados, e o δ¹³C-CO₂ das concentrações de C-CO₂ (eixo y) determinadas no CRDS. A intercessão da reta obtida com o eixo y é equivalente ao δ¹³C-CO₂ do fluxo superficial de C-CO₂ do solo.

3.2.4. Fluxos superficiais de C-CO₂ derivado dos adubos verdes e derivado do solo

Devido à diferença no $\delta^{13}\text{C}$ das frações da matéria orgânica particulada (MOP) e da associada aos minerais (MAM) (MOP: -25‰ e MAM: -20‰) (Tabela 2) e dos diferentes adubos verdes utilizados nos tratamentos (Tabela 4), foi possível identificar a contribuição do C derivado do adubo verde utilizado e aquele advindo da decomposição da MOS. A contribuição dos adubos verdes nos fluxos superficiais de C-CO₂ do solo foi determinada conforme a Equação 2:

$$f = \frac{(\delta^{13}\text{C}_{\text{tratamento}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{testemunha}})}{(\delta^{13}\text{C}_{\text{Adubo verde}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{testemunha}})} \quad \text{Equação 2.}$$

Onde, f é a contribuição direta do adubo verde para os fluxos superficiais de C-CO₂; $\delta^{13}\text{C}_{\text{tratamento}}$ (‰) é a abundância natural do ¹³C no fluxo superficial de C-CO₂ na parcela; $\delta^{13}\text{C}_{\text{testemunha}}$ (‰) é a abundância natural do ¹³C no fluxo superficial de C-CO₂ na parcela sem cobertura vegetal (testemunha) e $\delta^{13}\text{C}_{\text{Adubo verde}}$ (‰) é a abundância natural do ¹³C na fitomassa do adubo verde (Tabela 4).

A quantidade de C-CO₂ derivado dos resíduos dos adubos verdes nos fluxos superficiais de C-CO₂ foi determinada conforme a Equação 3:

$$F_{\text{Adubo verde}} = f * F \quad \text{Equação 3.}$$

Onde, $F_{\text{Adubo verde}}$ é o fluxo de C-CO₂ derivado do adubo verde (mg h⁻¹ m⁻²); f é a contribuição do adubo verde para os fluxos de C-CO₂; F é o fluxo superficial total de C-CO₂ (mg h⁻¹ m⁻²) na parcela.

A contribuição do C derivado da MOS para os fluxos superficiais de C-CO₂ foi determinada pela Equação 4:

$$F_{\text{solo}} = F - F_{\text{Adubo verde}} \quad \text{Equação 4.}$$

Onde, F_{solo} é o fluxo de C-CO₂ derivado do solo (mg h⁻¹ m⁻²); F é o fluxo superficial total de C-CO₂ na parcela (mg h⁻¹ m⁻²); $F_{\text{Adubo verde}}$ é o fluxo de C-CO₂ (mg h⁻¹ m⁻²) derivado do adubo verde.

3.2.5. Efeito priming da matéria orgânica do solo influenciada pelos diferentes adubos verdes

O efeito priming da MOS (%EP) ocasionado pelos adubos verdes nas parcelas foi determinado conforme Equação 5:

$$\%EP = \frac{(F_{solo\ tratamento} - F_{testemunha})}{F_{testemunha}} \times 100 \quad \text{Equação 5.}$$

Onde, $F_{solo\ tratamento}$ é o fluxo superficial de C-CO₂ derivado do solo nos tratamentos com plantas de cobertura; $F_{testemunha}$ é o fluxo superficial de C-CO₂ derivado do solo no tratamento sem planta de cobertura (testemunha).

3.2.6. Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade e homogeneidade de variâncias. Posteriormente realizou-se a análise de variância (ANOVA) pelo teste F. Os tratamentos foram submetidos a teste de médias (Skott-Knott) a 5% de probabilidade. Análises de correlação de Pearson foram feitas no sentido de verificar o grau de associação linear entre as variáveis dependentes.

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os fluxos superficiais totais de C-CO₂ e C-CH₄ do solo obtidos durante o período experimental estão apresentados na Figura 2. O tipo de adubo verde, solteiro ou combinado, na forma de coquetel vegetal, expressivamente, alterou as emissões de CO₂ do solo em todos os tempos avaliados (Figura 2A). Ao longo do período experimental, os fluxos de C-CO₂ variaram entre $7,1 \pm 0,8$ e $69,4 \pm 4,1$ mg h⁻¹ m⁻² nos tratamentos L (Guandu, 266 DAS) e 3L+G (Guandu + Crotalária + Feijão-de-porco + Milheto, 365 DAS), respectivamente.

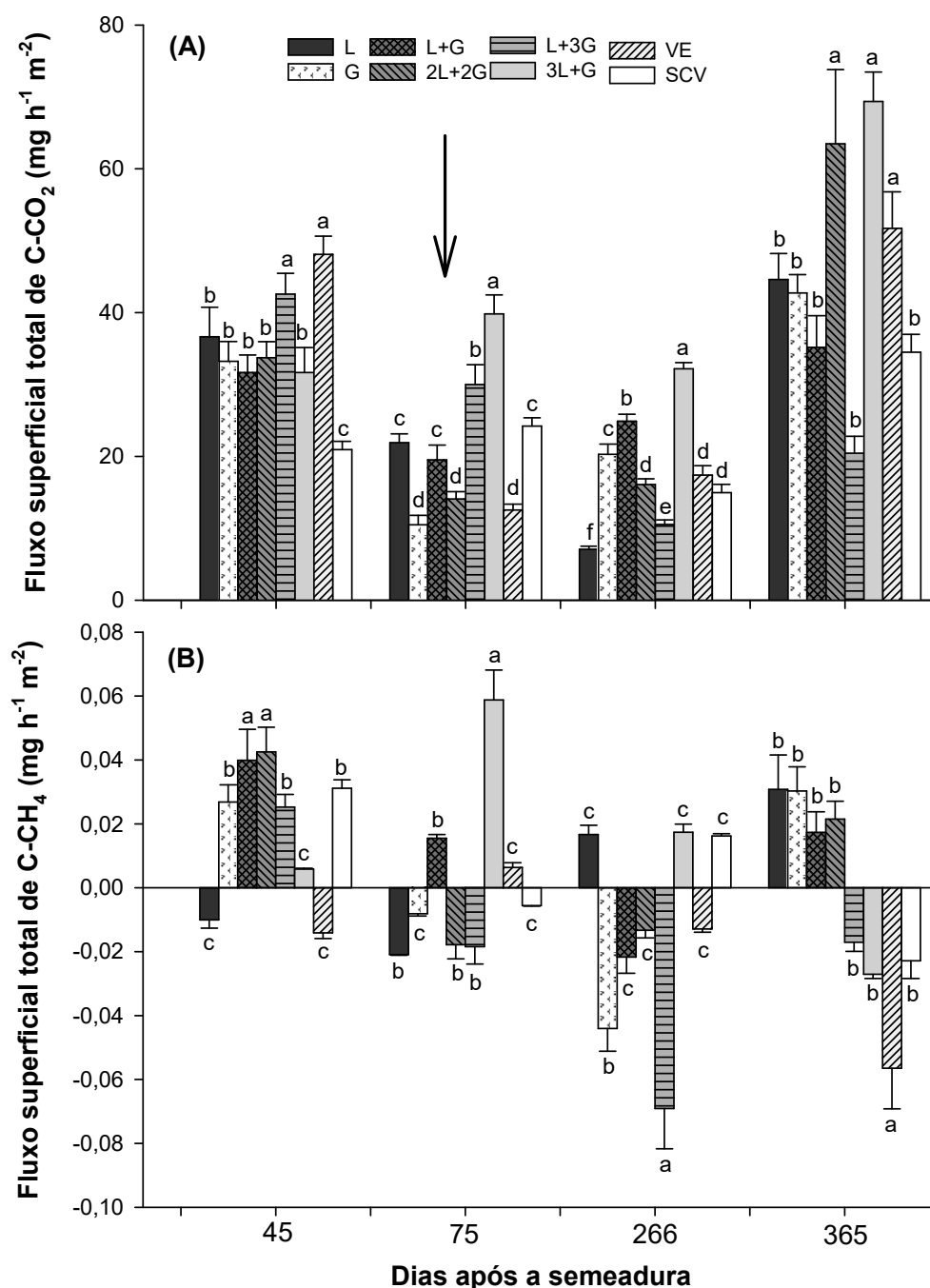


Figura 2. Fluxos superficiais totais de C-CO₂ (A) e C-CH₄ (B) do solo aos 45, 75, 266 e 365 dias após a semeadura (DAS) dos adubos verdes. L (Guandu), G (Milheto), L+G (Guandu + Milheto), 2L+2G (Guandu + Crotalaria + Milheto + Sorgo), L+3G (Guandu + Milheto + Sorgo + Milho), 3L+G (Guandu + Crotalaria + Feijão-de-porco + Milheto), VE (vegetação espontânea) e SCV (sem cobertura vegetal). Diferentes letras minúsculas indicam diferenças significativas entre os tratamentos em cada época de avaliação pelo teste de Skott-Knott ($\alpha = 0,05$). Barras verticais indicam o erro padrão da média (n = 4). A seta para baixo indica coleta realizada 24h após o corte dos adubos verdes.

De maneira geral, independentemente do tratamento, foram observadas menores emissões de C-CO₂ aos 75 e 266 DAS dos adubos verdes, nos meses de novembro/2016 e maio/2017, respectivamente (Figura 2A). Aos 75 DAS tem-se o corte das plantas de cobertura (adubos verdes), o que, possivelmente, reduziu a respiração do sistema radicular das plantas e, conseqüentemente, a emissão de C-CO₂ do solo. Em trabalho avaliando as emissões de CO₂ derivados de raízes de milho, Nichols et al. (2016) observaram que uma proporção significativa de emissões de CO₂ do solo (19-31%) provém das raízes, tornando-se um processo crítico a ser considerado quando se pretende comparar ou modelar as emissões de gases de solos cultivados.

A partir dos 365 DAS (290 dias após o corte dos adubos verdes), observa-se que houve o aumento no fluxo de C-CO₂ do solo, resultado do aporte dos resíduos na superfície do solo provenientes dos adubos verdes (Tabela 4). Aumento nos fluxos superficiais de C-CO₂ do solo ocorre em função das entradas de carbono no solo, seja pelas raízes na fase de crescimento das plantas de cobertura, respiração autotrófica (FERREIRA et al., 2018; HU et al., 2018; SONG et al., 2017) ou pela decomposição dos resíduos depositados na superfície do solo. Além disso, o aumento dos fluxos superficiais totais de C-CO₂ do solo podem estar associados à oxidação do CH₄ a CO₂. Jain et al. (2016) afirmam que solos sob condições aeróbicas favorecem a decomposição de C orgânico do solo e oxidação de CH₄ a CO₂.

Os fluxos superficiais totais de C-CO₂ aos 45 DAS dos adubos verdes foram maiores no solo sob os tratamentos VE (vegetação espontânea) e L+3G com médias de $48,1 \pm 2,5$ e $42,6 \pm 2,9$ mg h⁻¹ m⁻², respectivamente (Figura 2A).

O solo sob o adubo verde 3L+G apresentou maiores fluxos superficiais totais de CO₂ do solo no momento do corte dos adubos verdes (75 DAS) e seis meses pós corte (266 DAS), não diferindo dos tratamentos 2L+2G (Guandu + Crotalária + Milheto + Sorgo) e VE aos 365 DAS. Os maiores fluxos superficiais totais de CO₂ do tratamento 3L+G está associado ao aporte de resíduos e a baixa relação C/N (9,10 Mg ha⁻¹; C/N: 18,4) apresentada por este tratamento (Tabela 4). Emissões de C-CO₂ do solo sob cultivo com plantas de cobertura com menor relação C/N (ex. leguminosas) apresentam maior fluxo C-CO₂ (LINSLER et al., 2016; MANCINELLI et al., 2013). Rigon et al. (2018) apontaram que, com a diminuição da relação C/N a

taxa de decomposição dos resíduos geralmente aumenta, conseqüentemente, aumentando o fluxo de C-CO₂ do solo.

Quanto aos fluxos superficiais totais de C-CH₄ do solo, observou-se que estes foram influenciados pelos tipos de adubos verdes (Figura 2B), havendo grande variabilidade entre emissões e absorções, com médias variando de $-0,069 \pm 0,003$ [L+3G (Guandu + Milheto + Sorgo + Milho), 266 DAS] a $0,058 \pm 0,009$ mg h⁻¹ m⁻² (3L+G, 75 DAS) (Figura 2B).

Aos 45 DAS dos adubos verdes, a maioria dos solos se comporta como fonte de CH₄, ou seja, o efluxo de CH₄ foi maior do que seu influxo (Figura 2B), onde os tratamentos 2L+2G e L+G (Guandu + Milheto) apresentaram os maiores valores de fluxos superficiais totais de C-CH₄ ($0,042 \pm 0,007$ e $0,039 \pm 0,009$ mg h⁻¹ m⁻², respectivamente). O efluxo de CH₄, possivelmente, foi devido a maior atividade de microrganismos metanogênicos próximos às raízes dos adubos verdes, que se encontravam em fase de desenvolvimento, favorecidos pelos exsudatos radiculares na rizosfera (AGETHEN et al., 2018; HESTER et al., 2018).

A partir dos 75 DAS dos adubos verdes, o fluxo superficial total de CH₄ no solo apresentou um padrão estocástico em relação aos diferentes adubos verdes avaliados. De maneira geral, aos 75 e 266 DAS dos adubos verdes, os solos sob os diferentes tratamentos apresentaram maior capacidade de oxidar o CH₄ com tendência à absorção deste. A oxidação aeróbica de CH₄ é realizada por bactérias metanotróficas, esses microrganismos oxidam o CH₄ a CO₂ usando o oxigênio como acceptor de elétrons (TORRES-ALVARADO et al., 2017). Assim, as altas taxas de oxidação de CH₄ aeróbico no solo reduzem potenciais emissões deste gás para a atmosfera (LENGERER e KAZDA, 2018; WANG et al., 2016; SEGARRA et al., 2015).

Utilizando a assinatura isotópica de ¹³C foi possível particionar os fluxos superficiais totais de C-CO₂ do solo em fluxos superficiais de C-CO₂ derivados do adubo verde e fluxos superficiais de C-CO₂ derivados do solo obtidos durante o período de avaliação (Figuras 3), o que permite entender melhor o turnover do C do solo após a adição de resíduos dos adubos verdes (VAN GROENIGEN et al., 2017).

Os fluxos superficiais de C-CO₂ derivados do adubo verde variaram de $1,2 \pm 0,5$ (L, 266 DAS) a $54,4$ (3L+G, 365 DAS) mg h⁻¹ m⁻² (Figura 3A), enquanto os fluxos superficiais de C-CO₂ derivados do solo variaram de $3,8 \pm 0,1$ (L+G, 75 DAS) a $34,5 \pm 2,3$ (VE, 365 DAS) mg h⁻¹ m⁻² (Figura 3B).

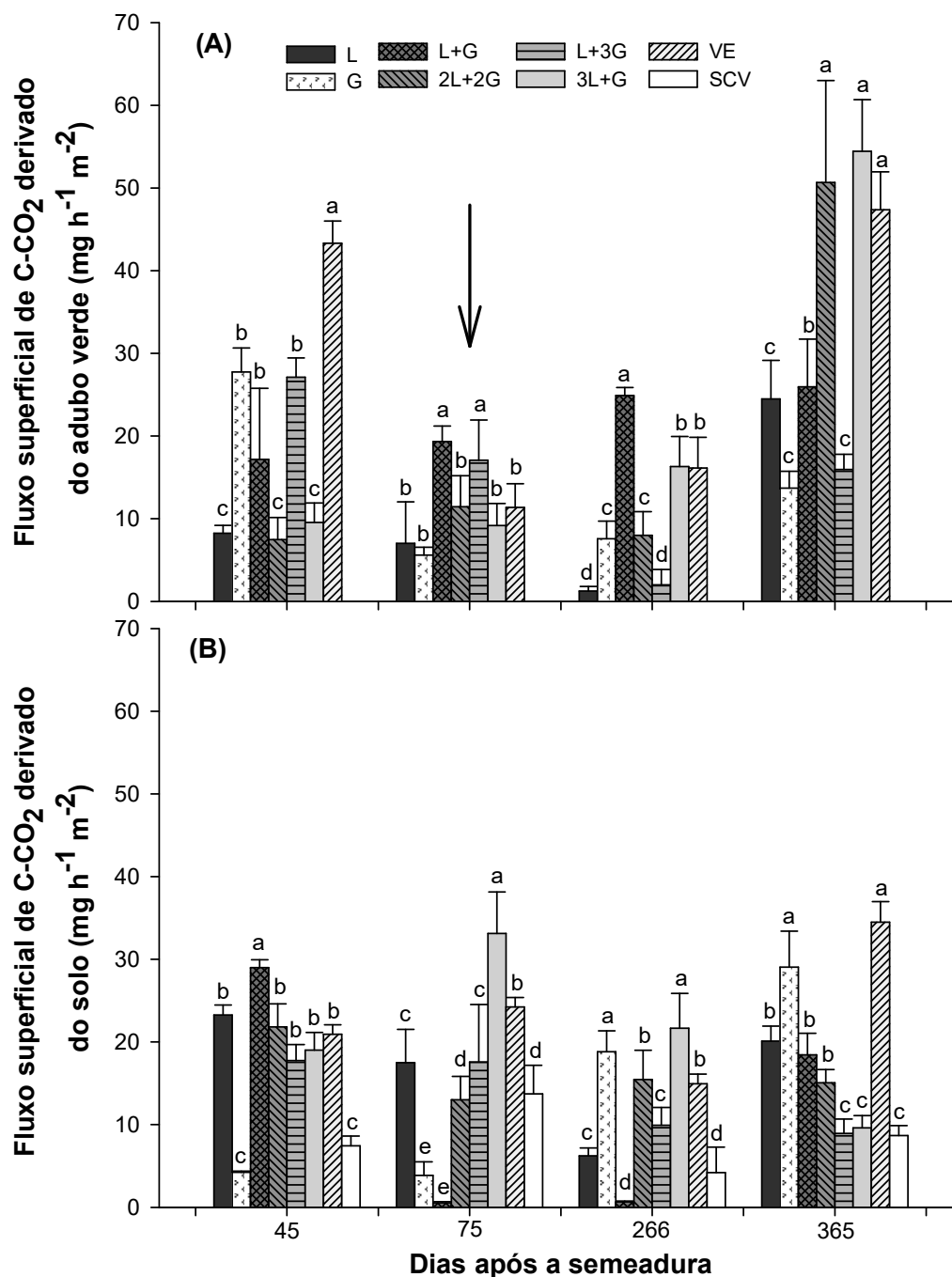


Figura 3. Fluxos superficiais de C-CO₂ derivados do adubo verde (A) e derivados do solo (B) aos 45, 75, 266 e 365 dias após a semeadura (DAS) dos adubos verdes. L (Guandu), G (Milheto), L+G (Guandu + Milheto), 2L+2G (Guandu + Crotalária + Milheto+ Sorgo), L+3G (Guandu + Milheto + Sorgo + Milho), 3L+G (Guandu + Crotalária + Feijão-de-porco + Milheto), VE (vegetação espontânea) e SCV (sem cobertura vegetal). Diferentes letras minúsculas indicam diferenças significativas entre os tratamentos em cada época de avaliação pelo teste de Skott-Knott ($\alpha = 0,05$). Barras verticais indicam o erro padrão da média ($n = 4$). A seta para baixo indica coleta realizada 24h após o corte dos adubos verdes.

De maneira geral, ao longo do período experimental, a maior contribuição para o fluxo superficial total C-CO₂ foi do adubo verde (18,94 mg h⁻¹ m⁻²) (p<0,01; r=0,73**, dados não apresentados) em relação ao fluxo superficial de C-CO₂ derivado do solo (15,73 mg h⁻¹ m⁻²) (Figura 3). Kerré et al. (2016), em experimento de incubação no período de 180 dias com palhada de milho, observaram que os fluxos de C-CO₂ derivados dos resíduos foram maiores que os fluxos de C-CO₂ derivados do solo. Para os autores, a adição de fonte de carbono lábil ao solo pode induzir uma mudança das comunidades microbianas para a utilização do C mais facilmente decomposto. Fontaine et al. (2003) afirmaram que a disponibilidade de C lábil altera a preferência do substrato para decomposição pelos microrganismos.

Aos 365 DAS dos adubos verdes, o fluxo superficial de C-CO₂ derivado do adubo verde foi maior nos tratamentos 3L+G, 2L+2G e VE em relação aos demais tratamentos (Figura 3A), contribuindo, desta forma, para os maiores fluxos total de CO₂ nesses tratamentos (Figura 2A). Este comportamento, possivelmente, ocorreu em virtude dos tratamentos 3L+G e 2L+2G apresentarem maiores produtividade de fitomassa com baixa relação C/N, que foram aportados ao solo. Sabe-se que os resíduos de leguminosas possuem composições químicas diferentes, com menor relação C/N, levando a uma taxa de decomposição/mineralização mais rápida no solo em relação aos resíduos de não leguminosas (MANCINELLI et al., 2013), favorecendo maior respiração microbiana (emissão de C-CO₂). Por outro lado, apesar da vegetação espontânea ter apresentado baixa produtividade de fitomassa e alta relação C/N (Tabela 4), esta apresentou elevado fluxo superficial de C-CO₂ derivado do resíduo, possivelmente, em virtude da diversidade de plantas nesse tratamento ter favorecido maior atividade microbiana (CHAMIZO et al., 2017).

De maneira geral, observa-se que não houve grandes variações no fluxo superficial de C-CO₂ derivado do solo entre as diferentes épocas de avaliações (Figura 3B). O tratamento 3L+G apresentou maior fluxo superficial de C-CO₂ derivado do solo em relação aos demais adubos verdes aos 75 e 266 DAS dos adubos verdes, favorecendo, desta forma, os maiores fluxos superficiais totais de C-CO₂ nesse tratamento (Figura 2A).

O aporte de resíduo orgânico fresco, tais como esterco e palhada, no solo pode alterar fortemente o turnover da matéria orgânica do solo (MOS), ou seja causar efeito priming (SHAHBAZ et al., 2018). Quando ocorre a mineralização da MOS nativa do solo, pode favorecer maiores emissões de C-CO₂ do solo, resultado do

aumento da atividade dos microorganismos em virtude da maior disponibilidade de energia e nutrientes do resíduo orgânico fresco, sendo este processo denominado de efeito priming positivo (STRUECKER et al., 2017; CHEN et al., 2014).

Para o presente trabalho, o efeito priming foi influenciado pelos diferentes tipos de adubos verdes e tempos de avaliação, com valores variando entre $-95,2 \pm 4,0\%$ a $91,4 \pm 9,9$ nos tratamentos L+G (75 DAS) e 3L+G (266 DAS), respectivamente (Figura 4).

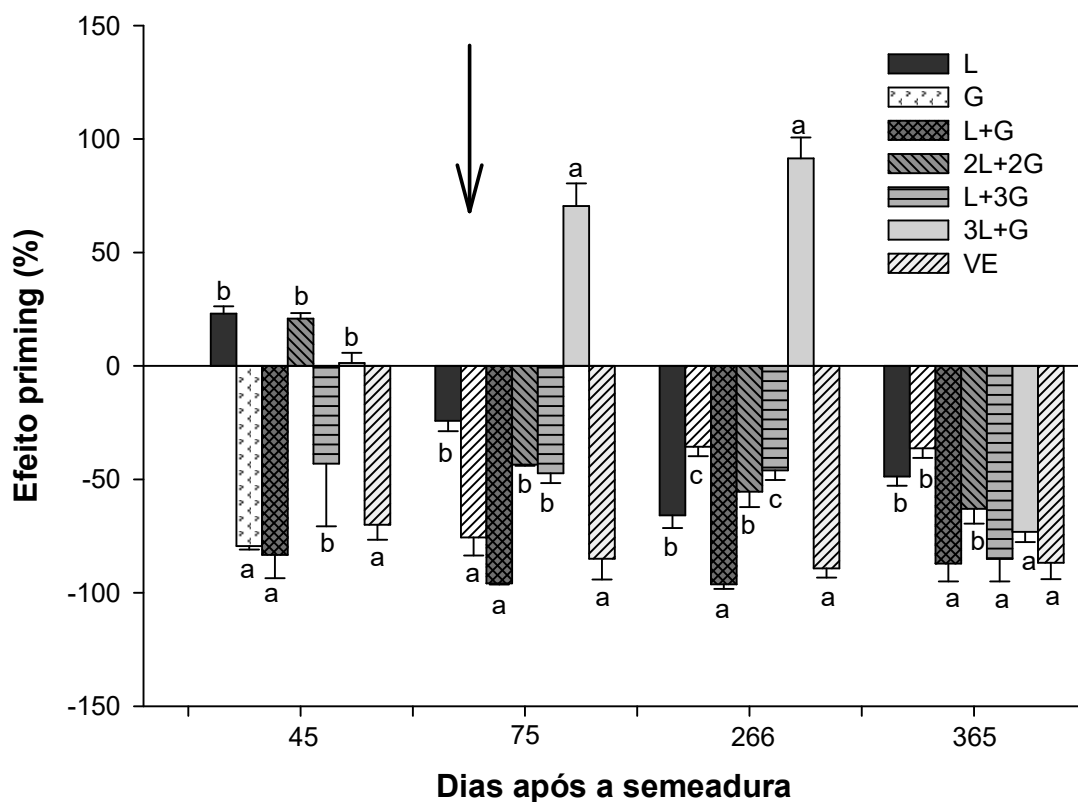


Figura 4. Efeito priming do C do solo determinado aos 45, 75, 266 e 365 dias após a semeadura (DAS) dos diferentes adubos verdes. L (Guandu), G (Milheto), L+G (Guandu + Milheto), 2L+2G (Guandu + Crotalária + Milheto+ Sorgo), L+3G (Guandu + Milheto + Sorgo + Milho), 3L+G (Guandu + Crotalária + Feijão-de-porco + Milheto), VE (vegetação espontânea) e SCV (sem cobertura vegetal). Diferentes letras minúsculas indicam diferenças significativas entre os tratamentos em cada época de avaliação pelo teste de Skott-Knott ($\alpha = 0,05$). Barras verticais indicam o erro padrão da média ($n = 4$). A seta para baixo indica coleta realizada 24h após o corte dos adubos verdes.

De maneira geral, o aporte de resíduos orgânicos dos adubos verdes avaliados no presente trabalho resultou em efeito priming negativo do C do solo (Figura 4). Os mecanismos que controlam o efeito priming são muito mais complexos que comumente se acredita (KUZUYAKOV et al., 2000; FONTAINE et al., 2003; LUO et

al., 2017; SHAHBAZ et al., 2017; SUN et al., 2015). O acréscimo de compostos orgânicos facilmente assimiláveis, a exemplo da glicose, pouco favoreceu a mineralização da MOS quando comparado a palhada e raízes de trigo (SHAHBAZ et al., 2018). Assim, além de depender do tipo de resíduo orgânico que é acrescentado ao solo, o efeito priming depende da população de organismos presentes no solo (FONTAINE et al., 2003). O efeito priming negativo reduz o efluxo de CO₂ do solo (BLAGODATSKAYA et al., 2007) e estimula o sequestro de C, reduzindo, desta forma, as consequências dos gases de efeito estufa (CHA-UM et al., 2017).

Em algumas situações, o aporte de resíduo orgânico fresco não resulta no efeito priming positivo, enquanto o suprimento de C em formas mais complexas/insolúveis pode induzir a mineralização da MOS. Quanto mais complexa for a qualidade do resíduo orgânico acrescentado, maior será a diversificação de enzimas extracelulares produzidas pelos microorganismos que favorecem a mineralização da MOS (efeito priming positivo) (FONTAINE et al., 2003).

Em condições de campo, especificamente para a região semiárida, são escassos trabalhos que avaliam o efeito da aplicação de resíduos orgânicos na decomposição da MOS (efeito priming). Em condições de laboratório, Qiu et al. (2016) avaliando as alterações do efeito priming durante a decomposição de resíduos de milho, observaram três etapas: A primeira etapa ocorreu logo após a adição do resíduo de milho, quando o substrato para os microorganismos passou do carbono orgânico do solo (COS) nativo para o C do resíduo de milho facilmente disponível (com duração de aproximadamente 7 dias). A segunda etapa mostrou um efeito priming positivo na decomposição do COS nativo (duração de 28 a 58 dias). A terceira etapa mostrou um efeito priming negativo na decomposição do COS nativo. Para os autores, o efeito priming negativo no último estágio de incubação podem ser o resultado da proteção física e coloidal do solo durante o processo de decomposição dos resíduos de milho.

O efeito priming positivo foi observado apenas nos tratamentos L ($23,0 \pm 1,2\%$), 2L+2G ($20,8 \pm 2,4\%$) e 3L+G ($19,0 \pm 2,1\%$) aos 45 DAS dos adubos verdes. O cultivo de leguminosas solteiro ou em consórcio, inicialmente, pode favorecer a ocorrência do efeito priming positivo o que pode está associada à exsudação radicular das plantas de cobertura na fase de crescimento associado à fixação de N por essas espécies, podendo ter contribuído para o aumento da população microbiana, conseqüentemente, decomposição da MOS nativa (SHAHBAZ et al.

2017). Também foi observado efeito priming positivo do C do solo no tratamento 3L+G ($70,5 \pm 9,9\%$ e $91,4 \pm 9,2\%$) aos 75 e 266 DAS dos adubos verdes, respectivamente.

A biomassa microbiana é considerada o compartimento mais ativo da MOS (NAMAN et al., 2018), sendo influenciada pelo tipo de solo, vegetação, clima e qualidade dos resíduos aportados na superfície do solo (WICKINGS et al., 2012; MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). No presente trabalho, os diferentes tipos de adubos verdes proporcionaram diferenças significativas ($p < 0,05$) no C da biomassa microbiana (C-BM) nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade do solo (Figura 5).

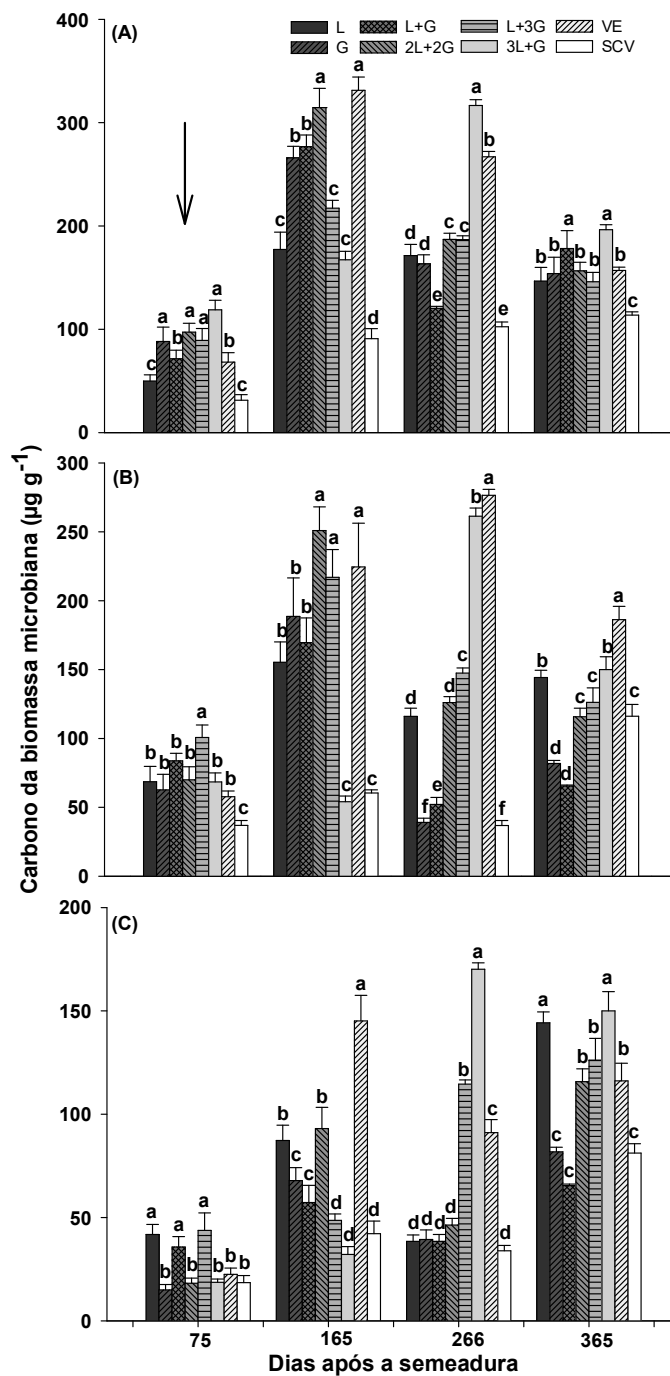


Figura 5. Carbono da biomassa microbiana (A, B, C) nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade, respectivamente, do solo aos 75, 165, 266 e 365 dias após a semeadura (DAS) dos adubos verdes. Guandu (L), Milheto (G), Guandu+Milheto (L+G), Guandu+Crotalaria+Milheto+Sorgo (2L+2G), Guandu+Milheto+Sorgo+Milho (L+3G), Guandu+Crotalaria+Feijão de Porco+Milheto (3L+G), Vegetação espontânea (VE) e sem cobertura vegetal (SCV). Diferentes letras minúsculas indicam diferenças significativas entre os tratamentos em cada época de avaliação pelo teste de Skott-Knott ($\alpha = 0,05$). Barras verticais indicam o erro padrão da média ($n = 4$). A seta para baixo indica coleta realizada 24h após o corte dos adubos verdes.

Os teores de C-BM variaram de $31,3 \pm 5,5$ [SCV (Sem cobertura vegetal), 75 DAS] a $301,3 \pm 12,8$ (VE, 165 DAS), $36,8 \pm 3,6$ (SCV, 266 DAS) a $276,5 \pm 4,3$ (VE, 266 DAS) e $15,0 \pm 2,6$ (G, 75 DAS) a $186,7 \pm 4,1$ (3L+G, 266 DAS) $\mu\text{g g}^{-1}$ para as camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade, respectivamente (Figura 5A, B e C).

De maneira geral, os teores de C-BM nos solos sob os adubos verdes com a inclusão de leguminosa ($123,64 \mu\text{g g}^{-1}$) foram superiores aos obtidos no tratamento apenas com gramínea [G (Milheto), $102,71 \mu\text{g g}^{-1}$], com destaque para o tratamento 3L+G ($122,77 \mu\text{g g}^{-1}$). A presença de leguminosas nos cultivos agrícolas promove melhoria na qualidade do solo, com aumento na sua fertilidade, via fixação simbiótica de N_2 , e no seu potencial de mineralização de N (COOMBS et al., 2017).

Diversos trabalhos, também, têm verificados diferenças significativas nos teores de C da biomassa microbiana em solos sob diferentes espécies de leguminosas e gramíneas, em sistemas solteiro ou combinado (MARTÍNEZ-GARCÍA et al., 2018; GUIMARÃES et al., 2017; FINNEY et al., 2017; BELO et al., 2012). Assim, aumentos na biomassa microbiana atuam como condicionante do incremento da ciclagem de nutrientes no solo, que estão imobilizados na fitomassa (FERREIRA et al., 2017), aumentando a disponibilidade de nutrientes para as plantas. Além disso, a própria biomassa microbiana constitui uma reserva lábil de nutrientes, que são rapidamente disponibilizados para as plantas, em virtude da baixa meia vida dos microrganismos no solo (BELO et al., 2012; CARNEIRO et al., 2008).

Müller et al. (2016) afirmam que, a transferência de C derivada de plantas para o solo é um dos fatores importantes que controlam o tamanho e a diversidade da comunidade microbiana, sendo muito importante para o sequestro de C em formas mais estáveis da MOS (COTRUFO et al., 2015).

Cabe ressaltar que não houve correlação entre o C-BM e o fluxo superficial total de CO_2 do solo (dados não apresentados). Linsler et al. (2016), avaliando a emissões de C- CO_2 do solo sob o cultivo com plantas de cobertura, phacelia (*Phacelia tanacetifolia*), mostarda branca (*Sinapis alba*), trevo (*Trifolium alexandrinum*), rabanete (*Raphanus sativus*) e pousio na Alemanha, também não verificaram correlação entre o C-BM e fluxo de C- CO_2 , mesmo os maiores fluxos de C- CO_2 sendo nos tratamentos com maior produção de fitomassa das plantas de cobertura e menor relação C/N (trevo > mostarda > phacelia > rabanete). Resíduos vegetais contendo uma proporção maior de compostos lábeis a recalcitrantes podem

ser utilizados mais eficientemente por microrganismos, levando a uma maior formação de matéria orgânica associada aos minerais (MAM) e menor produção de C-CO₂ em solos (RAKSHSH et al., 2017; COTRUFUO et al., 2015), o que pode ser confirmado pelo efeito priming negativo observado no presente trabalho.

3.4. CONCLUSÕES

1. O tipo de adubo verde, solteiro ou combinado, na forma de coquetel vegetal, influencia as emissões superficiais totais de C-CO₂ e C-CH₄ do solo.
2. O aporte de resíduos orgânicos dos adubos verdes favorece maiores fluxos superficiais totais de C-CO₂ do solo, com maior contribuição do C-CO₂ derivado do adubo verde em relação ao C-CO₂ derivado do solo.
3. O fluxo superficial total de CH₄ no solo apresenta um padrão estocástico em relação aos diferentes adubos verdes avaliados.
4. Para as condições em que o trabalho foi desenvolvido, a adoção da prática de adubação verde nas entrelinhas de cultivo de mangueira irrigada favorece o efeito priming negativo do C do solo, sendo uma importante estratégia de manejo para o sequestro de C no solo.

3.5. REFERÊNCIAS

AGETHEN, S.; SANDER, M.; WALDEMER, C. & KNORR, K. H. Plant rhizosphere oxidation reduces methane production and emission in rewetted peatlands. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 125, p. 125-135, 2018.

BELO, E. S.; TERRA, F. D.; ROTTA, L. R.; VILELA, L. A.; PAULINO, H. B.; SOUSA, E. D.; VILELA, L. A. F. & CARNEIRO, M. A. C. Decomposição de diferentes resíduos orgânicos e efeito na atividade microbiana em um Latossolo Vermelho de Cerrado. **Global Science and Technology**, v. 5, n. 3, p. 107-116, 2012.

BLAGODATSKAYA, E.; YUYUKINA, T.; BLAGODATSKY, S. & KUZYAKOV, Y. Three-source-partitioning of microbial biomass and of CO₂ efflux from soil to evaluate mechanisms of priming effects. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 43, n. 4, p. 778-786, 2011.

BLAGODATSKAYA, E. V.; BLAGODATSKY, S. A.; ANDERSON, T. H. & KUZYAKOV, Y. Priming effects in Chernozem induced by glucose and N in relation to microbial growth strategies. **Applied Soil Ecology**, v. 37, n. 1-2, p. 95-105, 2007.

CARNEIRO, M. A. C.; CORDEIRO, M. A. S.; ASSIS, P. C. R.; MORAES, E. M.; PEREIRA, H. S. PAULINO, H. B. & SOUZA, E.D. Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de cerrado. **Bragantia**, v. 67, n. 2, p. 456-462, 2008.

CEPEA. **Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada**. 2017. Disponível em:<<http://www.hfbrasil.org.br/br/revista/acessar/completo/anuario-2017-2018.aspx>>. Acesso em março de 2018.

CAMBARDELLA, C. A. & ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, n. 3, p. 777-783, 1992.

CHAMIZO, S.; SERRANO-ORTIZ, P.; LÓPEZ-BALLESTEROS, A.; SÁNCHEZ-CAÑETE, E. P.; VICENTE-VICENTE, J. L. & KOWALSKI, A. S. Net ecosystem CO₂ exchange in an irrigated olive orchard of SE Spain: influence of weed cover. **Agricultura, Ecosistemas e Meio Ambiente**, v. 239, p. 51-64, 2017.

CHA-UN, N.; CHIDTHAISONG, A.; YAGI, K.; SUDO, S. & TOWPRAYOON, S. Greenhouse gas emissions, soil carbon sequestration and crop yields in a rain-fed rice field with crop rotation management. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 237, p. 109-120, 2017.

CHEN, R.; SENBAYRAM, M.; BLAGODATSKY, S.; MYACHINA, O.; DITTERT, K.; LIN, X.; BLAGODATSKAYA, E. & KUZYAKOV, Y. Soil C and N availability determine the priming effect: microbial N mining and stoichiometric decomposition theories. **Global Change Biology**, v. 20, n. 7, p. 2356-2367, 2014.

COTRUFO, M. F.; SOONG, J. L.; HORTON, A. J.; CAMPBELL, E. E.; HADDIX, M. L.; WALL, D. H. & PARTON, W. J. Formation of soil organic matter via biochemical and physical pathways of litter mass loss. **Nature Geoscience**, v. 8, n. 10, p. 776-779, 2015.

COOMBS, C.; LAUZON, J. D; DEEN, B. & VAN EERD, L. L. Legume cover crop management on nitrogen dynamics and yield in grain corn systems. **Pesquisa em culturas de campo**, v. 201, p. 75-85, 2017.

CUNHA, T. J. F.; GIONGO, V.; SALVIANO, A. M.; MARQUES, F. A. & CANELLAS, L. P. Humified fraction of organic matter due to plant mixture cultivation. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 3, p. 578-586, 2016.

DONAGEMMA, G.K.; CAMPOS, D.V.B.; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G.; VIANA, J.H.M. (Org.). **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

FERREIRA, C. R. P. C.; ANTONINO, A. C. D.; SAMPAIO, E. V. D. S. B.; CORREIA, K. G.; LIMA, J. R. D. S.; SOARES, W. D. A. & MENEZES, R. S. C. Soil CO₂ efflux measurements by alkali absorption and Infrared gas analyzer in the Brazilian semiarid region. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, 1-10, 2018.

FERREIRA, E. A.; FIALHO, C. M. T.; BIBIANO, C. S.; BRAGA, R. R.; PEREIRA, G. A. M.; SILVA, D. V. & DOS SANTOS, J. B. Atividade microbiana de solos cultivados com mandioca em sistema de policultivo. **MAGISTRA**, v. 27, n. 3/4, p. 395-400, 2017.

FINNEY, D. M.; BUYER, J. S. & KAYE, J. P. Living cover crops have immediate impacts on soil microbial community structure and function. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 72, n. 4, p. 361-373, 2017.

FONTAINE, S.; MARIOTTI, A. & ABBADIE, L. The priming effect of organic matter: a question of microbial competition? **Soil Biology and Biochemistry**, v. 35, n. 6, p. 837-843, 2003.

GIONGO, V.; MENDES, A. M. S.; CUNHA, T. J.F. & GALVÃO, S. R. S. Decomposição e liberação de nutrientes de coquetéis vegetais para utilização no semiárido brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 3, p. 611-618, 2011.

GUIMARÃES, N. D. F.; GALLO, A. D. S.; FONTANETTI, A.; MENEGHIN, S. P.; DE SOUZA, M. D.; MORINIGO, K. P. & SILVA, R. F. D. Biomassa e atividade microbiana do solo em diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 1, p. 34-44, 2017.

HAMER, U. & MARSCHNER, B. Priming effects in different soil types induced by fructose, alanine, oxalic acid and catechol additions. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 37, n. 3, p. 445-454, 2005.

HESTER, E. R.; HARPENSLAGER, S. F.; VAN DIGGELEN, J. M.; LAMERS, L. L.; JETTEN, M. S.; LÜKE, C.; & WELTE, C. U. Linking nitrogen load to the structure and

function of wetland soil and rhizosphere microbial communities. **Msystems**, v. 3, n. 1, p. 214-17, 2018.

HU, S.; LI, Y.; CHANG, S. X.; LI, Y.; YANG, W.; FU, W.; LIU, J.; JIANG, P. & LIN, Z. Soil autotrophic and heterotrophic respiration respond differently to land-use change and variations in environmental factors. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 250, p. 290-298, 2018.

IPCC. Intergovernmental panel on climate change. 2014. **Climate change 2014: mitigation of climate change**. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY USA. 161p.

JAIN, N.; ARORA, P.; TOMER, R.; MISHRA, S. V.; B.; HATIA, A.; PATHAK, H.; CHAKRABORTY, D.; KUMAR, V.; DUBEY, D. S.; HARIT, J. P. & SINGH, J. P. Greenhouse gases emission from soils under major crops in Northwest India. **Science of the Total Environment**, v. 542, p. 551-561, 2016.

KEELING, C. D. The concentration and isotopic abundances of atmospheric carbon dioxide in rural areas. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 13, n. 4, p. 322-334, 1958.

KERRÉ, B.; HERNANDEZ-SORIANO, M. C. & SMOLDERS, E. Partitioning of carbon sources among functional pools to investigate short-term priming effects of biochar in soil: a ^{13}C study. **Science of the Total Environment**, v. 547, p. 30-38, 2016.

KUZYAKOV, Y. Priming effects: interactions between living and dead organic matter. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, n. 9, p. 1363-1371, 2010.

KUZYAKOV, Y. Sources of CO_2 efflux from soil and review of partitioning methods. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, n. 3, p. 425-448, 2006.

KUZYAKOV, Y.; FRIEDEL, J. K. & STAHR, K. Review of mechanisms and quantification of priming effects. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 32, n. 11-12, p. 1485-1498, 2000.

LAL, R. Soil carbon sequestration and aggregation by cover cropping. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 70, n. 6, p. 329-339, 2015.

LAL, R. Challenges and opportunities in soil organic matter research. **European Journal of Soil Science**, v. 60, n. 2, p. 158-169, 2009.

LENGERER, A. & KAZDA, M. Marian. Surface interpolation of environmental factors as tool for evaluation of the occurrence of high methane and nitrous oxide fluxes. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 181, n. 1, p. 51-60, 2018.

LINSLER, D.; KAISER, M.; ANDRUSCHKEWITSCH, R.; PIEGHOLDT, C. & LUDWIG, B. Effects of cover crop growth and decomposition on the distribution of aggregate size fractions and soil microbial carbon dynamics. **Soil Use and Management**, v. 32, n. 2, p. 192-199, 2016.

LIU, X. J. A.; SUN, J.; MAU, R. L.; FINLEY, B. K.; COMPSON, Z. G.; VAN GESTEL, N.; BROWN, J.R.; SCHWARTZ, E.; DIJKSTRA, P. & HUNGATE, B. A. Labile carbon input determines the direction and magnitude of the priming effect. **Applied Soil Ecology**, v. 109, p. 7-13, 2017.

LUO, Y.; ZANG, H.; YU, Z.; CHEN, Z.; GUNINA, A.; KUZYAKOV, Y. CHEN, Z.; GUNINA, A.; KUZYAKOV, Y.; XU, J.; ZHANG, K. & BROOKES, P. C. Priming effects in biochar enriched soils using a three-source-partitioning approach: ^{14}C labelling and ^{13}C natural abundance. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 106, p. 28-35, 2017.

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. D. S.; DE OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. D. S. & DE ARAÚJO FILHO, J. A. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semiárido cearense. **Revista Árvore**, v. 30, n. 5, p. 837-848, 2006.

MAJUMDER, S. P.; CHAITANYA, A. K.; DATTA, A.; PADHAN, D.; BADOLE, S. & MANDAL, B. Dynamics of carbon and nitrogen in agricultural soils: Role of organic and inorganic sources. **Soil Management and Climate Change**, cap. 11, p. 151-169, 2018.

MANCINELLI, R.; MARINARI, S. DI FELICE, V.; SAVIN, M. C. & CAMPIGLIA, E. Soil property, CO_2 emission and aridity index as agroecological indicators to assess the mineralization of cover crop green manure in a Mediterranean environment. **Ecological Indicators**, v. 34, p. 31-40, 2013.

MARTÍNEZ-GARCÍA, L. B.; KORTHALS, G.; BRUSSAARD, L.; JØRGENSEN, H. B. & DE DEYN, G. B. Organic management and cover crop species steer soil microbial community structure and functionality along with soil organic matter properties. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 263, p. 7-17, 2018.

MENDONÇA, E.S. & MATOS, E.S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa, MG, UFV, 2005. 107p

MOREIRA, F. M. S. & SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras, MG, UFLA, 2006. 626p.

MÜLLER, K.; KRAMER, S.; HASLWIMMER, H.; MARHAN, S.; SCHEUNEMANN, N.; BUTENSCHÖN, O.; SCHEU, S. & KANDELER, E. Carbon transfer from maize roots and litter into bacteria and fungi depends on soil depth and time. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 93, p. 79-89, 2016.

NAMAN, F.; SOUDI, B.; CHIANG, C. N. & EL ADLOUNI, C. Evolution of carbon and nitrogen biomass of vertisol and fersiallitic soil after previous cultivation of wheat and sugar beet in the irrigated perimeter of the Doukkala in Morocco. **Journal of Materials and Environmental Sciences**, v. 9, n. 5, p. 1544-1550, 2018.

NICHOLS, V.; MIGUEZ, F.; SAUER, T. & DIETZEL, R. Maize and prairie root contributions to soil CO₂ emissions in the field. **Crop Science**, v. 56, n. 5, p. 2791-2801, 2016.

QIU, Q.; WU, L.; OUYANG, Z.; LI, B.; XU, Y.; WU, S. & GREGORICH, E. G. Priming effect of maize residue and urea N on soil organic matter changes with time. **Applied Soil Ecology**, v. 100, p. 65-74, 2016.

RAKHSH, F.; GOLCHIN, A.; AL AGHA, A. B. & ALAMDARI, P. Effects of exchangeable cations, mineralogy and clay content on the mineralization of plant residue carbon. **Geoderma**, v. 307, p. 150-158, 2017.

RIBEIRO, K.; SOUSA-NETO, E. R.; CARVALHO JUNIOR, J. A.; LIMA, J. R. S.; MENEZES, R. S. C.; DUARTE-NETO, P. J.; GUERRA, G. S. & OMETTO, J. P. H. B. Land cover changes and greenhouse gas emissions in two different soil covers in the Brazilian Caatinga. **Science of The Total Environment**, v. 571, p. 1048-1057, 2016.

RIGON, J. P. G.; CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. & SCALA JR, N. L. Cover crop rotations in no-till system: short-term CO₂ emissions and soybean yield. **Scientia Agricola**, v. 75, n. 1, p. 18-26, 2018.

RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte+ argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 297-300, 2005.

SCHARLEMANN, J. P.; TANNER, E. V.; HIEDERER, R. & KAPOS, V. Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. **Carbon Management**, v. 5, n. 1, p. 81-91, 2014.

SEGARRA, K. E. A.; SCHUBOTZ, F.; SAMARKIN, V.; YOSHINAGA, M. Y.; HINRICHS, K. U. & JOYE, S. B. High rates of anaerobic methane oxidation in freshwater wetlands reduce potential atmospheric methane emissions. **Nature Communications**, v. 6, p. 74-77, 2015.

SHAHBAZ, M.; KUMAR, A.; KUZYAKOV, Y.; BÖRJESSON, G. & BLAGODATSKAYA, E. Interactive priming effect of labile carbon and crop residues on SOM depends on residue decomposition stage: Three-source partitioning to evaluate mechanisms. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 126, p. 179-190, 2018.

SHAHBAZ, M.; KUZYAKOV, Y.; SANAULLAH, M.; HEITKAMP, F.; ZELENNEV, V.; KUMAR, A. & BLAGODATSKAYA, E. Microbial decomposition of soil organic matter is mediated by quality and quantity of crop residues: mechanisms and thresholds. **Biology and Fertility of Soils**, v. 53, n. 3, p. 287-301, 2017.

SILVA, K. A.; RODRIGUES, M. S.; CUNHA, J. C.; ALVES, D. C.; FREITAS, H. R. & LIMA, A. M. N. Levantamento de solos utilizando geoestatística em uma área de experimentação agrícola em Petrolina-PE. **Comunicata Scientiae**, v. 8, n. 1, p. 175-180, 2017.

SILVA, F. C. **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**. 2ª ed., revisão ampliada. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.

SONG, W.; TONG, X.; ZHANG, J.; MENG, P. & LI, J. Autotrophic and heterotrophic components of soil respiration caused by rhizosphere priming effects in a plantation. **Plant, Soil and Environment**, v. 63, n. 7, p. 295-299, 2017.

SOUZA, E. B.; MELO JÚNIOR, J. C. F.; ANDRADE, I. G. V.; SILVA, A. R. **Probabilidade de ocorrência da evapotranspiração de referência (ET₀) para o município de Petrolina, PE**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, v. 43, 2014, Campo Grande, 2014. 4p.

STRUECKER, J.; DYCKMANS, J. & JOERGENSEN, R. G. Plant residue and native organic matter decomposition under subsoil-specific gas conditions—Comparing topsoils with C-poor and C-rich subsoils. **Geoderma**, v. 292, p. 1-8, 2017.

SUN, Y.; XU, X.; YANG, B. & KUZUYAKOV, Y. Plant inter-species effects on rhizosphere priming effect and nitrogen acquisition by plants. In: **EGU General Assembly Conference Abstracts**, v. 17, 2015, Viena, Áustria, 2015. 1p.

TEIXEIRA, R. da S. **Above and below ground plant inputs and soil organic matter cycling in an eucalypt plantation in the Cerrado biome**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2017. Tese de Doutorado. 92p.

TORRES-ALVARADO, R.; RAMÍREZ-VIVES, F.; FERNÁNDEZ, F. J. & BARRIGA-SOSA, I. Methanogenesis and methane oxidation in wetlands. Implications in the global carbon cycle. **Hidrobiológica**, v. 15, n. 3, p. 327-349, 2017.

VAN GROENIGEN, K. J.; OSENBURG, C. W.; TERRER, C.; CARRILLO, Y.; DIJKSTRA, F. A.; HEATH, J.; NIE, M.; PENDALL, E.; PHILLIPS, R. P. & HUNGATE, B. A. Faster turnover of new soil carbon inputs under increased atmospheric CO₂. **Global Change Biology**, v. 23, n. 10, p. 4420-4429, 2017.

WANG, D. T.; WELANDER, P. V. & ONO, S. Fractionation of the methane isotopologues ¹³CH₄, ¹²CH₃ D, and ¹³CH₃D during aerobic oxidation of methane by *Methylococcus capsulatus* (Bath). **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 192, p. 186-202, 2016.

WICKINGS, K.; GRANDY, A. S.; REED, S. C. & CLEVELAND, C. C. The origin of litter chemical complexity during decomposition. **Ecology Letters**, v. 15, n. 10, p. 1180-1188, 2012.

4. ARTIGO 2: Dinâmica da matéria orgânica em solo sob cultivo de mangueira associado com adubação verde no semiárido

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi avaliar a dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS) em área cultivada com mangueira irrigada sem e com adubação verde em Petrolina-PE. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, sendo os tratamentos compostos por diferentes tipos de coberturas vegetais com espécies de leguminosas (L) e gramíneas (G), com quatro repetições: Guandu (*Cajanus cajan* L.) – L; Milheto (*Penisetum americanum* L.) – G; Guandu + Milheto – L+G; Guandu + Crotalária (*Crotalaria juncea* L.) + Milheto + Sorgo (*Sorghum vulgare Pers.*) – 2L+2G; Guandu + Milheto + Milho (*Zea mays* L.) + Sorgo – L+3G; Guandu + Crotalária + Feijão-de-Porco (*Canavalia ensiformes*) + Milheto – 3L+G; Vegetação espontânea – VE e sem cobertura vegetal (testemunha absoluta) – SCV. Aos 365 dias após a semeadura (DAS) dos adubos verdes foram determinados os estoques de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), C/N, C da matéria orgânica particulada (MOP), C da fração associada aos minerais (MAM), C das substâncias húmicas - SH (fração ácido fúlvico - FAF, fração ácido húmico - FAH e fração humina - FH) e, a abundância natural de ^{13}C ($\delta^{13}\text{C}$) da MOP e MAM nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade. Os estoques de C das frações da matéria orgânica do solo foram diretamente afetados pelos adubos verdes. O cultivo de adubos verdes na entrelinha da mangueira aumenta os estoques de COT e NT na camada mais superficial do solo, com destaque para os tratamentos 3L+G, L+G e 2L+2G. Os efeitos dos adubos verdes nos estoques de C da MOP, MAM e SH ficaram restritos a camada de 0-10 cm de profundidade do solo. Não houve mudanças expressivas no enriquecimento de ^{13}C ($\delta^{13}\text{C}$) nas frações MOP e MAM, o que pode estar relacionada com o curto período de implantação do experimento. O cultivo de plantas de cobertura, leguminosas associadas com gramíneas, utilizadas como adubos verdes constitui uma importante estratégia de manejo para o sequestro de C no solo sob cultivo de mangueira nas condições semiáridas.

Palavras-chave: Plantas de cobertura. Carbono orgânico total. Matéria orgânica particulada. Matéria Orgânica associada aos minerais. Substâncias húmicas. *Mangifera indica* L.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the dynamics of soil organic matter (SOM) in area under irrigated mango cultivation with and without green manure in Petrolina-PE, Brazil. The experimental design was completely randomized and treatments were composed of different types of vegetation cover with leguminous (L) and grass (G) species, in four replicates: Pigeon pea (*Cajanus cajan* L.) – L; Millet (*Penisetum americanum* L.) – G; Pigeon pea + Millet – L+G; Pigeon pea + Brown hemp (*Crotalaria juncea* L.) + Millet + Sorghum (*Sorghum vulgare* Pers.) – 2L+2G; Pigeon pea + Millet + Corn (*Zea mays* L.) + Sorghum – L+3G; Pigeon pea + Brown hemp + Jack bean (*Canavalia ensiformes*) + Millet – 3L+G; spontaneous vegetation – SV; and absence of vegetation cover - AVC. At 365 DAS of green manure crops, the following parameters were determined: stocks of total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN), C/N, C from particulate organic matter (POM), C from mineral-associated organic matter (MAOM), C from humic substances - HS (fulvic acid fraction – FAF, humic acid fraction – HAF and humin fraction – HF), C from microbial biomass (C-MB) and natural abundance of ^{13}C ($\delta^{13}\text{C}$) in POM and MAOM in the 0-10, 10-20 and 20-40 cm layers. Stocks of C from soil organic matter fractions were directly affected by green manure crops. Green manure cultivation in mango interrows increases TOC and TN stocks in the most superficial soil layer, especially for the treatments 3L+G, L+G and 2L+2G. Effects of green manure crops on the stocks of C from POM, MAOM and HS were limited to the 0-10 cm soil layer. There were no expressive changes in ^{13}C ($\delta^{13}\text{C}$) enrichment in the fractions POM and MAOM, which may be related to the short period of experiment conduction. Cultivation of cover crops, leguminous species associated with grasses, used as green manure, is an important management strategy for C sequestration in soil under mango cultivation in semi-arid conditions.

Keywords: Cover crops. Total organic carbon. Particulate organic matter. Mineral-associated organic matter. Humic substances. *Mangifera indica* L.

4.1. INTRODUÇÃO

Das frutíferas com potencial de mercado no Brasil, especialmente aquelas destinadas para frutas frescas para exportação, a mangueira se destaca ocupando o segundo lugar no ranking de exportações com um volume de 179 mil toneladas, no ano de 2017 (Anuário Brasileiro da Fruticultura, ABF, 2018). O Vale do São Francisco responde por cerca de 85% das exportações de manga fresca (CEPEA, 2017), o que contribui para o Brasil ser um dos maiores exportadores mundial de manga (ABF, 2018). O uso de tecnologias que mitiguem os impactos das mudanças climáticas globais e melhorem a qualidade do solo deve ser adotado para o desenvolvimento da mangicultura sustentável.

O uso da terra, a cobertura vegetal e os sistemas de manejo influenciam os atributos químicos e físicos do solo (SHAHBAZ et al., 2017). Com isso, o uso de adubos verdes favorecem o aumento da produção de biomassa, ciclagem de nutrientes, aumento da matéria orgânica do solo (MOS) e estruturação física do solo, constituindo-se como tecnologia importante para propiciar agroecossistemas sustentáveis frente aos cenários de mudanças climáticas globais (WITTEWER et al., 2017; RIBEIRO et al., 2016).

Contudo, os efeitos dos adubos verdes nos atributos químicos do solo, dentre eles nos estoques de carbono (C) da MOS, são muito variáveis em virtude das espécies utilizadas, do manejo da fitomassa e da interação desses fatores com as características edafoclimáticas locais (GIONGO et al., 2011). No Vale do São Francisco, o uso da adubação verde caracterizando-se pela combinação de diferentes espécies de leguminosas e gramíneas, tem despertado cada vez mais o interesse dos agricultores. Ao mesmo tempo, poucas alterações são conhecidas na quantidade e qualidade de MOS pelo uso contínuo desta prática de manejo. Em virtude da sua maior relação C/N e, conseqüentemente, menor taxa de decomposição, acredita-se que o uso de adubação verde com maiores proporções de gramíneas favoreçam aumento dos estoques de C da MOS, contribuindo para o processo de humificação (CUNHA et al., 2016). Na região semiárida brasileira, caracterizada por apresentar elevadas temperaturas, baixo índice pluviométrico e baixa produção de biomassa (SACRAMENTO et al., 2013), o acúmulo dos estoques de C da MOS é limitado. Por outro lado, em áreas de agricultura irrigada, como

mangueira, onde as temperaturas são elevadas e há disponibilidade de água da irrigação, a mineralização da MOS é favorecida (GIONGO et al., 2011).

Os estoques de C da MOS é resultado do equilíbrio dinâmico entre a adição, transformação e mineralização dos resíduos que são adicionados ao solo, definido pelas características edafoclimáticas locais (HORWATH, 2015). O estudo da dinâmica da MOS não deve ficar restrito ao carbono orgânico total (COT), mas englobar a fração particulada da matéria orgânica do solo (MOP), considerada um indicador mais sensível de mudanças na qualidade do solo (HAYNES, 2005) e das frações húmicas da matéria orgânica, componentes mais estáveis da MOS, parte significativa do total de C e N do solo (HORWATH, 2015).

Não há informações sobre as alterações nos estoques de C das frações da MOS causadas pelo uso de adubos verdes, justificando assim o seu estudo. Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a dinâmica da matéria orgânica em solo sob cultivo de mangueira irrigada associada à adubos verdes em Petrolina-PE.

4.2. MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1. Descrição da área de estudo

O experimento foi desenvolvido em pomar de mangueira irrigada localizado no Campus Ciências Agrárias da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), município de Petrolina – PE (09° 11' 43,5" S e 41° 01' 59,2" O; 400,3 m de elevação). O clima local é classificado como BSh' (semiárido), segundo a classificação proposta por Köppen, com período chuvoso entre os meses de janeiro e abril e médias de temperatura e pluviosidade durante o período experimental de 27,1 °C e 14,5 mm, respectivamente (Figura 1).

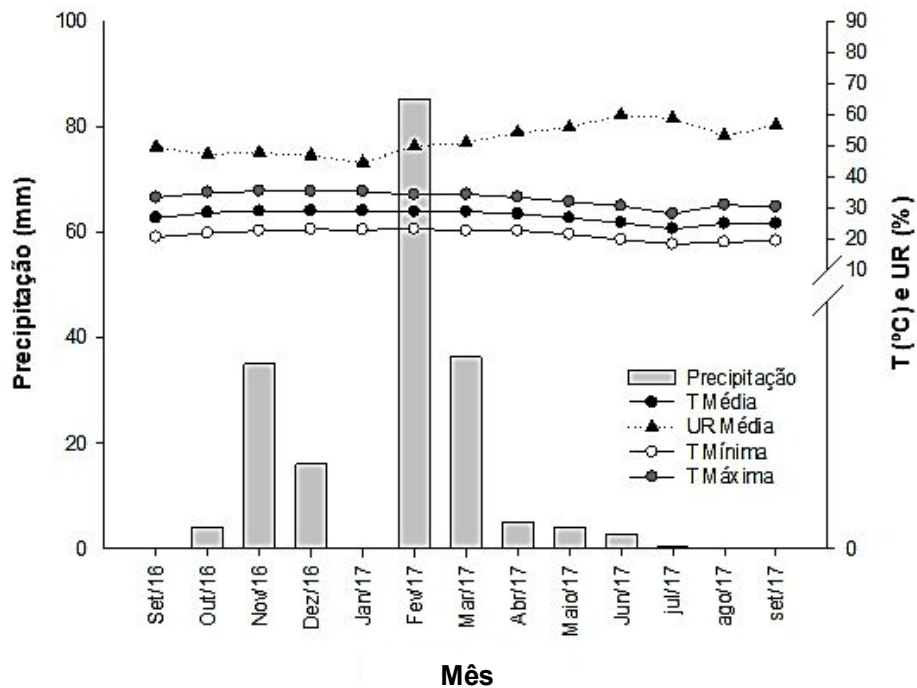


Figura 1. Temperatura mínima, média e máxima (T. °C), precipitação pluviométrica (mm) e umidade relativa do ar (UR. %) durante a realização do experimento.

O solo da área foi classificado como Argissolo Amarelo eutrocoeso típico de textura arenosa (SILVA et al., 2017), cuja composição química e física está apresentada na Tabela 1 e a caracterização das frações da matéria orgânica do solo, matéria orgânica particulada (MOP) e matéria orgânica associada aos minerais (MAM) na Tabela 2.

Tabela 1. Atributos químicos e físicos do Argissolo Amarelo eutrocoeso típico antes da implantação do experimento.

Profundidades	pH	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	CTC	P	CEes	Areia	Silte	Argila	Pt	Dp	Ds
cm		-----mmolc dm ⁻³ -----								mg dm ⁻³	μS cm ⁻¹	-----g kg ⁻¹ -----			%	-----g cm ⁻³ -----	
0-10	7,4	0,4	4,0	7,4	20,4	0,0	0,0	32,2	32,23	231,8	205,5	840,9	10,3	130,8	34,0	2,8	1,7
10-20	7,6	0,4	5,4	8,6	18,5	0,0	0,0	32,7	32,86	160,5	160,5	770,9	30,5	180,5	28,0	2,8	1,8
20-40	7,4	0,4	7,8	8,9	14,8	0,0	0,0	32,0	31,98	38,4	103,0	720,1	50,2	220,7	29,0	2,8	1,7

pH em água (1:2,5); Mg²⁺, Ca²⁺e Al³⁺: KCl 1 mol L⁻¹; Na⁺, P e K⁺: Mehlich-1; H+Al (acidez potencial), acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0; SB: soma de bases (Na⁺+K⁺+Mg²⁺+Ca²⁺); CTC: Capacidade de troca de cátions (SB + Al³⁺) (SILVA, 2009); Análise granulométrica pelo método da pipeta (RUIZ et al., 2005); CEes: condutividade elétrica; Pt: porosidade total; Dp: densidade de partícula, Ds: densidade do solo (DONAGEMA et al., 2011).

Tabela 2. Estoques de C, N, relação C/N e $\delta^{13}\text{C}$ das frações da matéria orgânica do solo particulada (MOP) e associada aos minerais (MAM) antes da instalação do experimento.

Profundidade (cm)	MOP				MAM			
	C	N	C/N	$\delta^{13}\text{C}$	C	N	C/N	$\delta^{13}\text{C}$
	----Mg ha ⁻¹ ----			‰	----Mg ha ⁻¹ ----			‰
0-10	0,93	nd	-	-25,4	3,3	0,42	7,8	-19,5
10-20	0,66	nd	-	-25,4	3,8	0,39	9,9	-20,9
20-40	0,54	nd	-	-22,2	3,2	0,33	9,7	-19,8

MAM e MOP (Cambardella & Elliott, 1992); C, N e $\delta^{13}\text{C}$ (determinados por combustão via seca e espectrometria de massa de razão isotópica); nd- não detectado.

4.2.2. Estabelecimento e condução experimental

O delineamento experimental foi disposto em blocos ao acaso com quatro repetições, sendo os tratamentos compostos por diferentes tipos de coberturas vegetais com espécies de leguminosas (L) e gramíneas (G): Guandu (*Cajanus cajan* L.) – L; Milheto (*Penisetum americanum* L.) – G; Guandu + Milheto – L+G; Guandu + Crotalária (*Crotalaria juncea* L.) + Milheto + Sorgo (*Sorghum vulgare* Pers.) – 2L+2G; Guandu + Milheto + Milho (*Zea mays* L.) + Sorgo – L+3G; Guandu + Crotalária + Feijão-de-Porco (*Canavalia ensiformes*) + Milheto – 3L+G; vegetação espontânea – VE; e sem cobertura vegetal (testemunha absoluta) – SCV.

As principais espécies de plantas identificadas nas parcelas sob vegetação espontânea foram: *Ricinus communis*, *Cenchrus ciliaries*, *Waltheria indica*, *Kallstroemia tribuloides*, *Herissantia crista*, *Desmodium tortuosum*, *Diodella teres*, *Richardia scabra*, *Mollugo verticillata*, *Datura stramonium*, *Macroptilium marti*, *Merremia aegyptia* e *Boerhavia diffusa*.

Antes da semeadura das plantas de cobertura, realizou-se o preparo do solo, com uma aração e uma gradagem na profundidade de 20 cm na entrelinha da mangueira. Posteriormente, o sistema de irrigação por microaspersão foi instalado, em área total, nas linhas de mangueiras, e por gotejamento para suplementação hídrica das plantas de cobertura, nas entrelinhas. A lâmina de irrigação foi calculada utilizando-se a evapotranspiração corrigida para a irrigação localizada, obtida pelo produto da evapotranspiração potencial da cultura e o coeficiente de irrigação

localizada, utilizando a evapotranspiração de referência para o município de Petrolina-PE (SOUZA et al., 2014).

A semeadura dos coquetéis vegetais foi realizada em setembro de 2016 por meio do sulcamento nas parcelas experimentais. O espaçamento das linhas de semeadura foi de 60 cm, sendo a primeira linha localizada a 100 cm da base do caule da mangueira, totalizando 6 linhas de coquetéis vegetais em cada entrelinha da mangueira. Para garantir a uniformidade de germinação das sementes, inicialmente, foram semeadas as de maior tamanho, na profundidade de 4 cm e, posteriormente, as de menor tamanho, na profundidade de 2 cm (Tabela 3).

Tabela 3. Quantidade de sementes das espécies de adubos verdes utilizadas na composição dos tratamentos

Tratamentos	Guandu	Milheto	Sorgo	Crotalária	Milho	Feijão-de-porco
 g parcela ⁻¹					
L	480					
G		1320				
L+G	480	1320				
2L+2G	480	1320	600	600		
L+3G	480	1320		600	360	
3L+G	480	1320		600		120

Durante a fase inicial de desenvolvimento das plantas de cobertura e até o momento da floração, foi feita uma capina manual nas parcelas das plantas de cobertura, com exceção da área com vegetação espontânea, para a remoção das plantas espontâneas. Esta prática foi realizada com o objetivo de minimizar a deposição do material vegetal oriundo destas plantas sobre o solo, antes do corte, para que não influenciasses na ciclagem de nutrientes e nos estoques de C do solo. A capina foi feita logo que as plantas espontâneas começaram a germinar e, os resíduos foram retirados da área. Assim, todo material vegetal depositado na superfície do solo foi proveniente da fitomassa das plantas de cobertura. Nas parcelas experimentais sem cobertura vegetal a capina foi realizada a medida que a vegetação espontânea crescia.

Quando as plantas de cobertura estavam em estágio de pleno florescimento 75 dias após a semeadura (DAS), a fitomassa foi cortada rente ao solo e depositada na superfície do solo. Subamostras foram levadas para laboratório para a determinação da matéria seca, teores de C, N e $\delta^{13}\text{C}$ determinado por combustão da matéria

orgânica em espectrômetro de massa de razão isotópica de fluxo contínuo IRMS, ANCA GSL 20-20, Sercon, Crewe, UK. (Tabela 4).

Tabela 4. Produtividade de fitomassa dos adubos verdes e teores de carbono (C), nitrogênio (N), relação C/N e abundância natural de ^{13}C ($\delta^{13}\text{C}$).

Tratamentos	Fitomassa seca [†]	$\delta^{13}\text{C}^*$	C*	N*	C/N
	Mg ha ⁻¹	‰	g kg ⁻¹		
Guandu (L)	2,82	-29,00	442,1	33,0	15,6
Milheto (G)	7,88	-12,00	405,7	16,6	28,5
Guandu + Milheto (L+G)	7,35	-20,00	427,8	20,8	24,0
Guandu + Crotalária + Milheto + Sorgo (2L+2G)	10,37	-25,00	449,8	19,9	26,3
Guandu + Milheto + Milho + Sorgo (L+3G)	9,43	-19,00	422,3	18,5	26,6
Guandu + Crotalária + Feijão-de-Porco + Milheto (3L+G)	9,10	-24,00	422,4	28,6	18,4
Vegetação espontânea (VE)	1,90	-23,00	405,8	16,6	28,5

[†]Amostragem de fitomassa para o primeiro corte (75 DAS), *Determinação realizada por espectrômetro de massa de razão isotópica de fluxo contínuo (IRMS, ANCA GSL 20-20, Sercon, Crewe, UK)

O transplântio das mudas de mangueira cv. Palmer (hipobioto: manga rosa), foi realizado no espaçamento de 5,0 x 4,0 m, 55 dias após o corte das plantas de cobertura (utilizadas como adubos verdes). A área experimental foi anteriormente ocupada com remanescente de caatinga e, como adubação de plantio das mangueiras, foi realizada apenas a aplicação de 20 litros cova⁻¹ de esterco bovino curtido.

4.2.3. Frações da matéria orgânica do solo

Aos 365 DAS dos adubos verdes, amostras de solo foram coletadas nas entrelinhas da mangueira nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade. As amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas, homogeneizadas e passadas em peneira de malha de 2,0 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA).

O fracionamento granulométrico da MOS foi realizado conforme o procedimento descrito por Cambardella e Elliott (1992) para a obtenção das frações da matéria orgânica particulada (MOP) e da matéria orgânica associada aos minerais (MAM). Para este procedimento, foram pesados 5 g de TFSA e dispersos em 15 mL de hexametáfosfato de sódio 5 g L⁻¹, em tubos de centrifuga tipo Falcon de 50 mL. Para garantir a completa dispersão das amostras, estas foram agitadas a 120 rpm em agitador horizontal durante 16 horas com esferas de vidro de 15 mm de

diâmetro. Ao término da dispersão, as frações foram separadas por peneiramento em malha de 53 μm , para a obtenção da MOP (>53 μm) e da MAM (<53 μm). Estas frações foram secas em estufa de circulação forçada de ar por 5 dias a temperatura de 60 °C, maceradas em moinho de bola e passadas em peneiras de 100 mesh (0,149 mm). Os teores de C, N e $\delta^{13}\text{C}$ nas frações MOP e MAM foram determinados por combustão da matéria orgânica em espectrômetro de massa de razão isotópica de fluxo contínuo IRMS, ANCA GSL 20-20, Sercon, Crewe, UK. Os teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) foram obtidos pelo somatório dos teores de C e N das frações, MOP mais a fração MAM.

Devido à diferença no $\delta^{13}\text{C}$ das frações MOP e MAM (Tabela 2) e dos diferentes adubos verdes utilizados nos tratamentos (Tabela 4), foi possível identificar a contribuição do C derivado do adubo verde e aquele advindo da matéria orgânica nativa do solo presente em cada fração da matéria orgânica nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade. A contribuição do C proveniente dos adubos verdes nas frações MAM e MOP, aos 365 DAS dos adubos verdes foi calculada conforme a Equação 1:

$$f = \frac{(\delta^{13}\text{C}_{\text{tratamento}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{testemunha}})}{(\delta^{13}\text{C}_{\text{Adubo verde}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{testemunha}})} \quad \text{Equação 1.}$$

Onde, f é a contribuição direta dos adubos verdes; $\delta^{13}\text{C}_{\text{tratamento}}$ é a abundância natural do ^{13}C nos tratamentos em que os resíduos foram depositados na superfície do solo na parcela; $\delta^{13}\text{C}_{\text{testemunha}}$ é a abundância natural do ^{13}C na parcela sem cobertura vegetal (testemunha) e $\delta^{13}\text{C}_{\text{Adubo verde}}$ é a abundância natural do ^{13}C na fitomassa do adubo verde (Tabela 4).

A proporção de C derivado dos resíduos dos adubos verdes em cada uma das frações (MAM e MOP), aos 365 DAS dos adubos verdes foi calculado por meio da Equação 2.

$$C - \text{MAM ou } C - \text{MOP}_{\text{adubo verde}} (\text{Mg ha}^{-1}) = f * C - \text{MAM ou } C - \text{MOP} \quad \text{Equação 2.}$$

Onde, C-MAM ou C-MOP_{adubo verde} é o carbono associado à fração MAM ou à fração MOP derivados dos adubos verdes (Mg ha^{-1}); f é a contribuição direta dos adubos

verdes para as frações da MOS; C-MAM é o estoque de carbono na fração MAM; C-MOP é o estoque de carbono na fração MOP.

A proporção de C derivado do solo em cada uma das frações (MAM e MOP), aos 365 DAS dos adubos verdes foi calculado por meio da Equação 3.

$$C - MAM \text{ ou } C - MOP_{\text{solo}} (\text{Mg ha}^{-1}) = (C - MAM \text{ ou } C - MOP) - (C - MAM \text{ ou } C - MOP_{\text{adubo verde}})$$

Equação 3.

Onde, C-MAM ou C-MOP _{solo} é o carbono associado à fração MAM ou à fração MOP derivados do solo (Mg h⁻¹); C-MAM ou C-MOP _{adubo verde} é o carbono associado a fração MAM ou a fração MOP derivados dos adubos verdes.

O fracionamento das substâncias húmicas (SH) foi realizado segundo o método sugerido pela International Humic Substances Society (SWIFT, 1996) e adaptado de Benites et al. (2003). Deste fracionamento foram obtidas as frações ácidos fúlvicos (FAF), ácidos húmicos (FAH) e huminas (FH), baseando-se na solubilidade em soluções ácidas ou alcalinas. Do somatório da FAF, FAH e FH obteve-se as (SH). O teor de C em cada fração húmica foi determinado pelo método de oxidação via úmida com aquecimento externo (YEOMANS e BREMNER, 1988). Os estoques de COT, NT e C nas distintas frações e camadas de solo foram calculados pela multiplicação do conteúdo de C orgânico pela massa do solo.

4.2.4. Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade e homogeneidade de variâncias. Posteriormente realizou-se a análise de variância (ANOVA) pelo teste F. Os tratamentos foram submetidos a teste de médias (Skott-Knott) a 5% de probabilidade.

4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os estoques de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT) e a relação C/N estão apresentados na Figura 2.

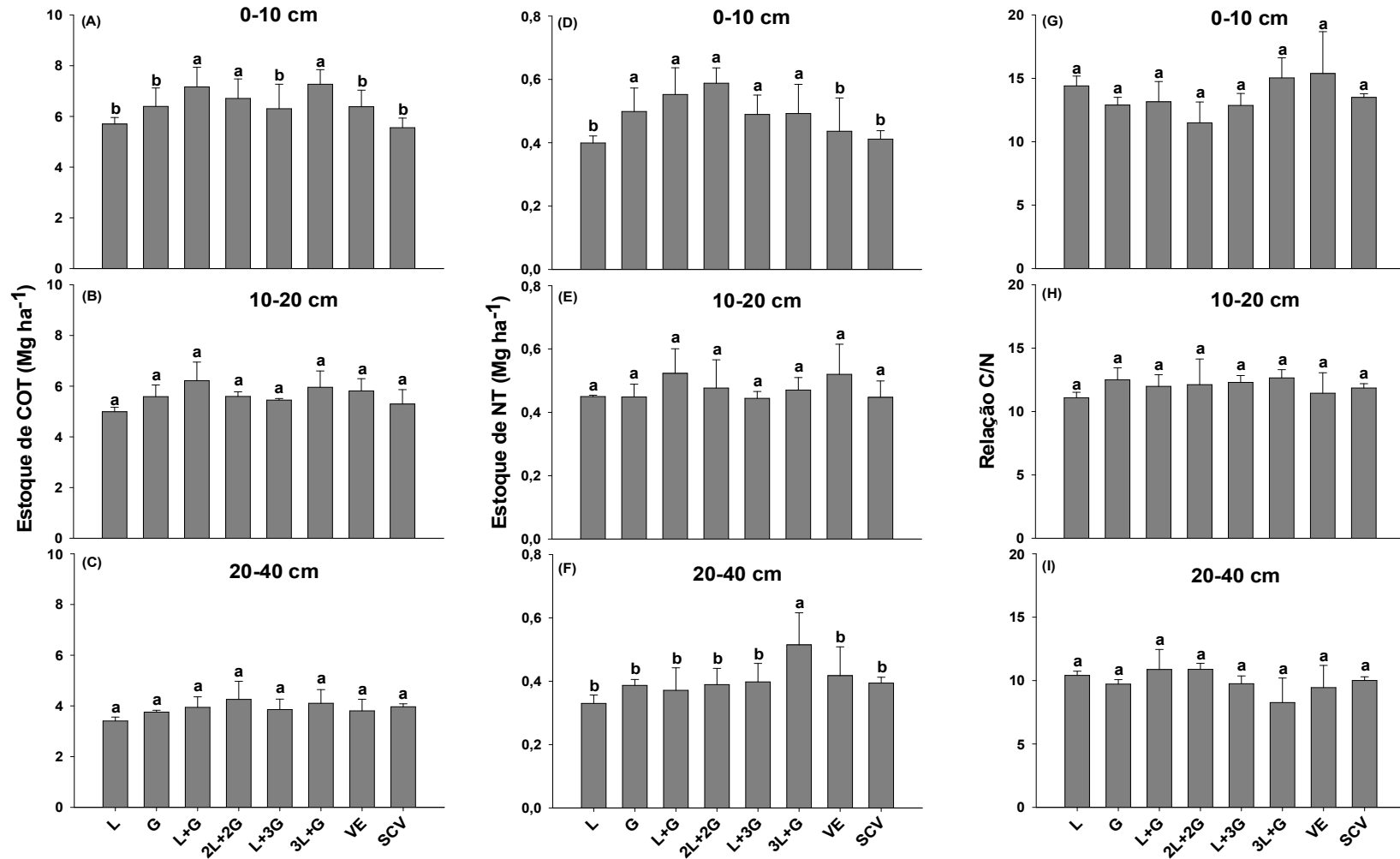


Figura 2. Estoques de carbono orgânico total (COT) (A, B, C), nitrogênio total (NT) (D, E, F) e relação C/N do solo (G, H, I) nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade do solo aos 365 dias após a semeadura (DAS) dos adubos verdes. L (Guandu), G (Milheto), L+G (Guandu + Milheto), 2L+2G (Guandu + Crotalária + Milheto + Sorgo), L+3G (Guandu + Milheto + Sorgo + Milho), 3L+G (Guandu + Crotalária + Feijão-de-porco + Milheto), VE (vegetação espontânea) e SCV (sem cobertura vegetal). Diferentes letras minúsculas indicam diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste de Skott-Knott ($\alpha = 0,05$) ($n=4$).

Os estoques de COT variaram de $3,4 \pm 0,1$ [L (Guandu), 20-40 cm] a $7,3 \pm 0,6$ [3L+G (Guandu + Crotalaria + Feijão-de-porco + Milheto), 0-10 cm] Mg ha^{-1} (Figuras 2A, B, C). Os efeitos dos adubos verdes nos estoques de COT ficaram restritos à camada de 0-10 cm de profundidade do solo, com maiores estoques para os tratamentos 3L+G ($7,3 \pm 0,6 \text{ Mg ha}^{-1}$), L+G (Guandu + Milheto) ($7,2 \pm 0,7 \text{ Mg ha}^{-1}$) e 2L+2G (Guandu + Crotalaria + Milheto+ Sorgo) ($6,7 \pm 0,8 \text{ Mg ha}^{-1}$) em relação aos demais tratamentos. Esse efeito pode ser atribuído às maiores quantidades de matéria seca e do nitrogênio (N) aportados pelas espécies das leguminosas, uma vez que, esses incrementos ocorreram nos tratamentos com menor relação C/N dos resíduos aportados na superfície do solo (Tabela 4). A quantidade e qualidade dos resíduos aportados ao solo contribuem para o aumento nos estoques de C no solo (SHAHBAZ et al., 2017; GUARESCHI et al., 2012).

Santos et al. (2018), observaram estoques de COT de 3,89; 3,83 e 3,16 Mg ha^{-1} para os coquetéis vegetais (75% leguminosas + 25% gramíneas/oleaginosas), (25% leguminosas + 75% gramíneas/oleaginosas) e vegetação espontânea, respectivamente, após seis anos de cultivo na entrelinha do meloeiro em um Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico plúntico, textura média/argilosa, em Petrolina-PE. Cunha et al. (2016), também, avaliando o efeito de três anos de cultivo de coquetéis vegetais (leguminosas e não-leguminosas) na entrelinha de cultivo da mangueira irrigada em Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico plúntico, textura média/argilosa, em Petrolina-PE, observaram que os tratamentos sob vegetação espontânea e o adubo verde (composto por 75% leguminosas e 25% não-leguminosas) apresentaram os maiores incrementos nos teores de COT de 0,9 e 0,84 g Kg^{-1} , respectivamente, para a camada de 0-20 cm de profundidade.

O balanço positivo de C no solo na entrelinha da mangueira pode ser resultado da característica que é potencializada pela utilização de sistemas de cultura com leguminosas, como plantas de cobertura, que favorecem o acúmulo de C no solo por permitirem maior produção de massa das gramíneas cultivadas, devido ao fornecimento de N (SOUZA COSTA et al., 2008). Adicionalmente, o uso de plantas C_4 contribui significativamente para a entrada de C no solo, em função da maior biomassa de raiz (SRINIVASARAO et al., 2016) conseqüentemente, o cultivo combinado dessa duas espécies contribuem para a manutenção/aumento nos estoques de C e N no solo.

Os maiores estoques de nitrogênio total (NT) no solo foram observados nos tratamentos 2L+2G ($0,59 \pm 0,05$), L+G ($0,55 \pm 0,07$), G (Milheto) ($0,50 \pm 0,07$), L+3G (Guandu + Milheto + Sorgo + Milho) ($0,49 \pm 0,06$) e 3L+G ($0,49 \pm 0,09$) Mg ha^{-1} em relação aos demais tratamentos na camada de 0-10 cm de profundidade (Figura 2D). Comportamento semelhante foi observado para o tratamento 3L+G ($0,51 \pm 0,1$) Mg ha^{-1} na camada de 20-40 cm de profundidade (Figura 2F). Resultados semelhantes foram obtidos por Brandão et al. (2017) que, após cinco anos consecutivos cultivando leguminosas e não-leguminosas nas entrelinhas da mangueira irrigada em condições edafoclimáticas semelhantes ao do presente estudo, onde o uso do coquetel vegetal composto por 75% leguminosas + 25% gramíneas/oleaginosas proporcionou maior teor de NT do solo em relação à vegetação espontânea na camada de 5-10 cm de profundidade, possivelmente, em função da composição predominante de leguminosas nesse coquetel. A inclusão de espécies leguminosas para cobertura de solo nos sistemas de cultivos aumentam os estoques de NT no solo (BAYER et al., 2003) e, conseqüentemente, contribui para aumentar os estoques de C nas frações da MOS resultando em maiores estoques de MOS (RAPHAEL et al., 2016). Isso por que, as espécies de leguminosas possibilitam maiores entradas líquidas de nitrogênio no solo através da fixação biológica de nitrogênio (BÜCHI et al., 2018).

Na Figura 3 estão apresentados os estoques de C da matéria orgânica particulada (C-MOP) e da matéria orgânica associada aos minerais (C-MAM). A fração mais lábil da MOS, fração MOP, representou pequena percentagem do COT (26,5%), enquanto a fração MAM, mais estável, contribuiu com mais de 70% do COT. Oliveira et al. (2016), avaliando o cultivo das plantas de cobertura *Brachiaria decumbes*, milheto (*Pennisetum glaucum*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), feijão-de-porco + milheto e vegetação espontânea em pomar de laranjeira na costa norte do Estado da Bahia, em um Latossolo Amarelo, observaram que a fração MAM representou 81% COT, indicando que a maioria do C presente no solo é encontrada em formas recalcitrantes ou estabilizadas. Adicionalmente, Chaudhary et al. (2014) mostraram que em solos incubados com resíduos de milho marcados com ^{13}C houve maior incremento de C na fração MAM, o correspondente a 76% do COT. Para os autores, a depleção do C da MOP com o tempo e subsequente aumento no conteúdo do C da MAM ocorre devido à redistribuição de MOS da fração lábil para a fração mais humificada.

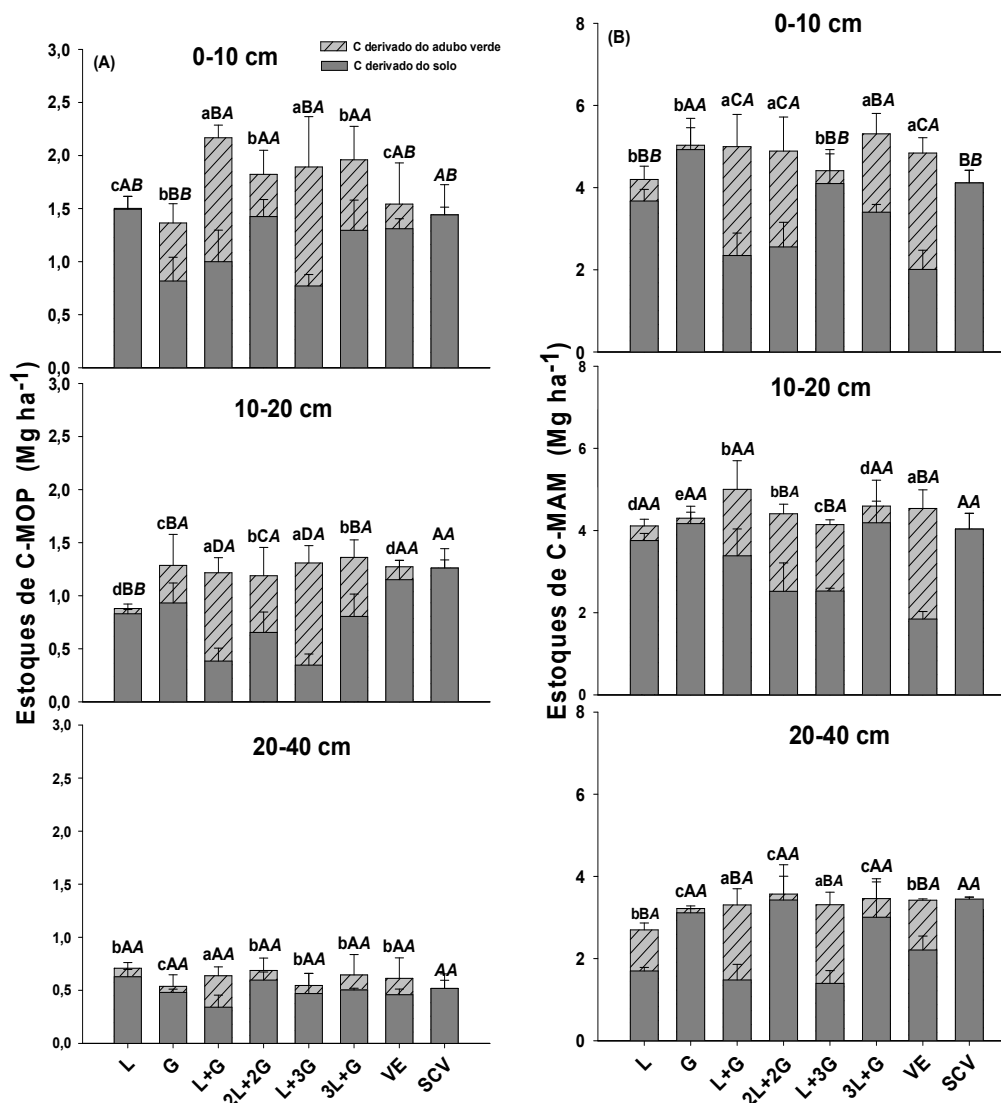


Figura 3. Estoques de carbono na matéria orgânica particulada (C-MOP), derivados do adubo verde (C-MOP adubo verde) e derivados do solo (C-MOP solo) (A); Estoques de carbono da matéria orgânica associada aos minerais (C-MAM), derivados do adubo verde (C-MAM adubo verde) e derivados do solo (C-MAM solo) (B) nas camadas de 0-10; 10-20 e 20-40 cm de profundidade do solo aos 365 dias após a semeadura (DAS) dos adubos verdes. L (Guandu), G (Milheto), L+G (Guandu + Milheto), 2L+2G (Guandu + Crotalária + Milheto + Sorgo), L+3G (Guandu + Milheto + Sorgo + Milho), 3L+G (Guandu + Crotalária + Feijão-de-porco + Milheto), VE (vegetação espontânea) e SCV (sem cobertura vegetal). Diferentes letras minúsculas (C-MOP ou C-MAM adubo verde), letras maiúsculas (C-MOP ou C-MAM solo) e letras maiúsculas em itálico (C-MOP ou C-MAM) indicam diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste de Scott-Knott ($\alpha = 0,05$) ($n=4$).

O efeito dos adubos verdes, nos estoques de C da fração MOP, ficou restrito a camada superficial do solo. Os tratamentos L+G ($2,17 \pm 0,1 \text{ Mg ha}^{-1}$), 3L+G ($1,96 \pm 0,3 \text{ Mg ha}^{-1}$), L+3G ($1,89 \pm 0,5 \text{ Mg ha}^{-1}$) e 2L+2G ($1,82 \pm 0,2 \text{ Mg ha}^{-1}$) apresentaram maiores estoques de C na MOP em relação aos demais tratamentos (Figura 3A). Os maiores incrementos nos estoques de C na fração MOP nesses tratamentos estão

associados a maior produtividade de fitomassa seca aportada ao solo (Tabela 4). Isso por que, a MOP constitui uma fração dinâmica da MOS, sendo composta principalmente de fragmentos de plantas parcialmente decompostos, ou seja, é mais dependente de entrada de resíduos ao solo, representando a fração menos transformada da MOS (DUVAL et al., 2016), além de ser considerada como um importante componente no sequestro de C derivado de plantas no solo (GHAFLOOR et al., 2017). ROSOLEM et al. (2016), avaliando os efeitos do cultivo de plantas de cobertura (milheto, sorgo e crotalária) em rotação com cultivo de soja em Botucatu-SP, observaram maiores estoques de C da fração MOP na camada de 0-10 cm em todos os tratamentos em relação ao pousio, refletindo a maior capacidade dessas espécies na produção de fitomassa seca da parte aérea e das raízes.

Os tratamentos L+3G e L+G apresentaram maiores estoques de C da fração MOP derivado do adubo verde nas camadas de 0-10 cm ($1,24 \pm 0,4$ e $1,21 \pm 0,3$ Mg ha⁻¹, respectivamente) e 10-20 cm ($0,97 \pm 0,08$ e $0,90 \pm 0,07$ Mg ha⁻¹, respectivamente) (Figura 3A). De acordo com Rivero Herrada et al. (2017), as gramíneas apresentam alta resistência quanto à decomposição de seus resíduos, com tempo de meia vida da fitomassa na superfície do solo de até 131 dias após seu manejo, em razão da elevada relação C/N, o que pode resultar em maior persistência dos resíduos sobre solo, contribuindo para maiores incrementos na formação da fração MOP (CASTRO et al., 2015). Por outro lado, a diferença entre as espécies pode proporcionar maior qualidade dos resíduos pela contribuição das leguminosas (menor relação C/N), por estimular decomposição dos resíduos e, portanto, também, tem influência direta na formação da MOP (DUVAL et al., 2016). Mazzilli et al. (2015), avaliando a formação da fração MOP a partir das mudanças na abundância natural do solo $\delta^{13}C$ em plantio direto de milho e soja no noroeste do Uruguai em solo com 22,9 dag kg⁻¹ de argila, observaram que a cultura do milho produziu maior fitomassa da parte aérea e da raiz (8,9 e 1,5 Mg de C ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente) em relação a soja (6,5 e 0,5 Mg de C ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente), no entanto, o C derivado das raízes da soja contribuiu 4 vezes mais que do milho para formação da fração MOP na camada de 0-10 cm de profundidade.

Os adubos verdes avaliados também só influenciaram os estoques de C da fração MAM apenas na camada de 0-10 cm de profundidade, com maiores estoques para os adubos verdes 3L+G ($5,31 \pm 0,5$ Mg ha⁻¹), G ($5,03 \pm 0,7$ Mg ha⁻¹), L+G ($5,0 \pm 0,9$ Mg ha⁻¹), 2L+2G ($4,89 \pm 0,8$ Mg ha⁻¹), e VE (Vegetação espontânea) ($4,84 \pm$

0,4 Mg ha⁻¹) (Figura 3B). As diferenças observadas no C da fração MAM podem estar associadas com o aporte de C bem como a qualidade dos resíduos vegetais aportados em superfície (Tabela 4). A relação C/N dos resíduos é considerada um importante fator de qualidade que controla a eficiência de transformação dos resíduos em formas mais estáveis de C no solo (DUVAL et al., 2016; LAVALLEE et al., 2018). A fração MAM, normalmente, é menos alterada pelas diferentes formas de manejo adotado, principalmente em curto prazo, devido a sua interação com a fração mineral (estabilidade química) e localização no interior de microagregados (<53 µm) estáveis (proteção física) (BAYER et al., 2004).

Quanto aos estoques de C da fração MAM derivados do adubo verde, observa-se que os tratamentos L+G (3,31 ± 0,5 Mg ha⁻¹), 2L+2G (2,70 ± 0,7 Mg ha⁻¹), 3L+G (2,70 ± 0,1 Mg ha⁻¹) e VE (2,83 ± 0,7 Mg ha⁻¹) apresentaram maiores estoques de C em relação aos demais tratamentos na camada de 0-10 cm de profundidade (Figura 3B). Comportamento semelhante foi observado para o tratamento VE na camada de 10-20 cm e, para os tratamentos L+G e L+3G na camada de 20-40 cm de profundidade. Conforme supracitado, os maiores incrementos de C derivados dos adubos verdes na fração MAM estão relacionados com a quantidade e qualidade dos resíduos provenientes da combinação das espécies de leguminosas e gramíneas (Tabela 4). Em experimento de laboratório, Chaudhary et al. (2014), avaliando a incorporação de resíduos de milho na formação da fração MAM, usando assinatura isotópica de ¹³C, observaram que o teor de ¹³C derivado da palhada de milho aumentou de 0,96 g kg⁻¹ de solo (no dia 20) para 1,10 g kg⁻¹ de solo (no dia 70) na fração MAM, em razão da presença dos compostos lábeis dos resíduos do milho. Resíduos lábeis aportados ao solo são considerados o principal precursor de formação da fração MAM (HADDIX et al., 2016).

A técnica da abundância natural de ¹³C (δ¹³C) tem sido bastante utilizada, pois tem possibilitado estudos relacionados à dinâmica do C nos diferentes compartimentos da MOS (ZANG et al., 2018; SCHIEDUNG et al., 2017; DORTZBACH et al., 2015; MILLARD et al., 2010). Plantas com metabolismo C₄ apresentam δ¹³C menos negativos (-9 a -17‰) por discriminarem menos este elemento, enquanto para as plantas com metabolismo C₃, esses valores são mais negativos (-20 a -34‰), dada a maior discriminação nestas espécies (SMITH e EPSTEIN, 1971). Este contraste na assinatura isotópica dos resíduos vegetais é mantido ao longo do *continuum* nos processos de decomposição, dessa forma, C

derivado de resíduos é transferido para as frações da MOS e assim, solos desenvolvidos sob vegetação C_3 ou C_4 apresentam MOS com $\delta^{13}C$ próximos a -27 e -13‰ , respectivamente (LAVALLEE et al., 2018).

No presente estudo, os valores de $\delta^{13}C$ foram, em média, $-21,4\text{‰}$ e $-20,30\text{‰}$ para as frações MOP e MAM, respectivamente (Figura 4). Os adubos verdes influenciaram os valores de $\delta^{13}C$ apenas na camada de 10-20 cm de profundidade para a fração MAM. Os tratamentos 3L+G ($-21,31 \pm 1,25\text{‰}$), SCV (Sem cobertura vegetal) ($-21,30 \pm 1,30\text{‰}$), G ($-21,29 \pm 1,07\text{‰}$) e L+3G ($-21,04 \pm 0,29\text{‰}$) apresentaram as maiores médias de $\delta^{13}C$ em relação aos demais tratamentos (Figura 4B), ou seja, enriquecidos com ^{13}C , demonstrando uma maior participação de C derivados de plantas com metabolismo C_4 (gramíneas) para a fração MAM. De modo geral, nota-se que, os deltas do solo nos tratamentos com presença de gramíneas são menos negativos, sendo reflexo do aporte da fitomassa seca dos adubos verdes ao solo (Tabela 4), sugerindo que, os resíduos aportados nestes tratamentos contribuem para a preservação do C recentemente adicionado na fração MAM.

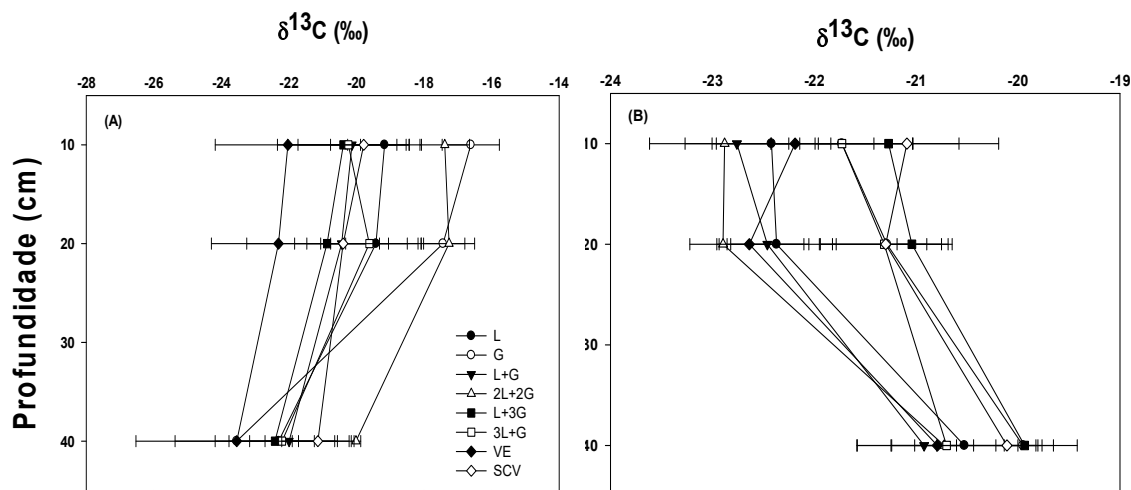


Figura 4. Dinâmica da abundância natural de ^{13}C ($\delta^{13}C$) na fração MOP (A) e fração MAM (B) nas camadas de 0-10; 10-20 e 20-40 cm de profundidade do solo aos 365 dias após a semeadura (DAS) dos adubos verdes. L (Guandu), G (Milheto), L+G (Guandu + Milheto), 2L+2G (Guandu + Crotalaria + Milheto + Sorgo), L+3G (Guandu + Milheto + Sorgo + Milho), 3L+G (Guandu + Crotalaria + Feijão-de-porco + Milheto), VE (vegetação espontânea) e SCV (sem cobertura vegetal). As barras horizontais indicam o erro padrão da média ($n=4$).

As alterações nos valores de $\delta^{13}C$ na fração MAM também podem estar associadas com a decomposição dos resíduos lábeis pelos microrganismos, em

função da deposição dos resíduos com baixa relação C/N dos adubos verdes e, com incorporação do C à fração mais estável da MOS. A mineralização mais rápida de resíduos lábeis pode causar um diferencial no enriquecimento isotópico no solo (HADDIX et al., 2016). Resíduos vegetais contendo uma maior proporção de compostos lábeis a recalcitrantes podem ser utilizados mais eficientemente por microrganismos, levando a maior formação da fração MAM (COTRUFLO et al. 2013).

No presente estudo, a hipótese mais provável para a não observância de mudanças expressivas no enriquecimento de ^{13}C nas frações da MOS (MOP e MAM), pode está relacionada com o curto período de implantação do experimento (primeiro ciclo de cultivo dos adubos verdes, 365 DAS), uma vez que, diversos trabalhos têm apresentado mudanças marcantes em áreas onde ocorrem substituição de vegetação C_3 para C_4 ou vice-versa a longo prazo (ZANG et al., 2018; DORTZBACH et al., 2015; LOSS et al., 2014; ARAÚJO et al., 2010).

Com relação às substâncias húmicas (SH), as quais representam o compartimento mais estável da MOS (UKALSKA-JARUGA et al., 2018; SILVA et al., 2016), observou-se que o efeito dos adubos verdes foram mais evidentes na camada superficial do solo, com os maiores estoques de C para os tratamentos L ($14,3 \pm 0,03 \text{ Mg ha}^{-1}$), 3L+G ($15,0 \pm 0,55 \text{ Mg ha}^{-1}$), L+G ($15,0 \pm 0,83 \text{ Mg ha}^{-1}$), VE ($15,6 \pm 0,60 \text{ Mg ha}^{-1}$) e 2L+2G ($16,0 \pm 0,55 \text{ Mg ha}^{-1}$) (Figura 5D). Comportamento semelhante foi observado para os estoques de C das frações ácido húmico (FAH) e humina (FHU) (Figuras 5B e C). Em estudo avaliando a influência das plantas de cobertura mucuna anã (*Mucuna deeringiana*), feijão guandu anão (*Cajanus cajan*) e crotalaria juncea (*Crotalaria juncea*) em rotação com milho nos teores de C das frações húmicas da MOS, Rosa et al. (2017) observaram que os maiores teores de C das SH foram nos solos sob as plantas de cobertura comparadas ao pousio na camada de 0-10 cm de profundidade, sendo esse efeito atribuído ao aporte da fitomassa produzida pelo uso das leguminosas herbáceas. A decomposição de resíduos orgânicos é altamente afetada pela disponibilidade de N e possui importante função na humificação da MOS (DEMOLINARI et al., 2017). Por outro lado, a grande diversidade de espécies presente no tratamento sob VE pode apresentar alta taxa de renovação de seu sistema radicular, o que pode ter contribuído para aumentar os estoques de C nas SH.

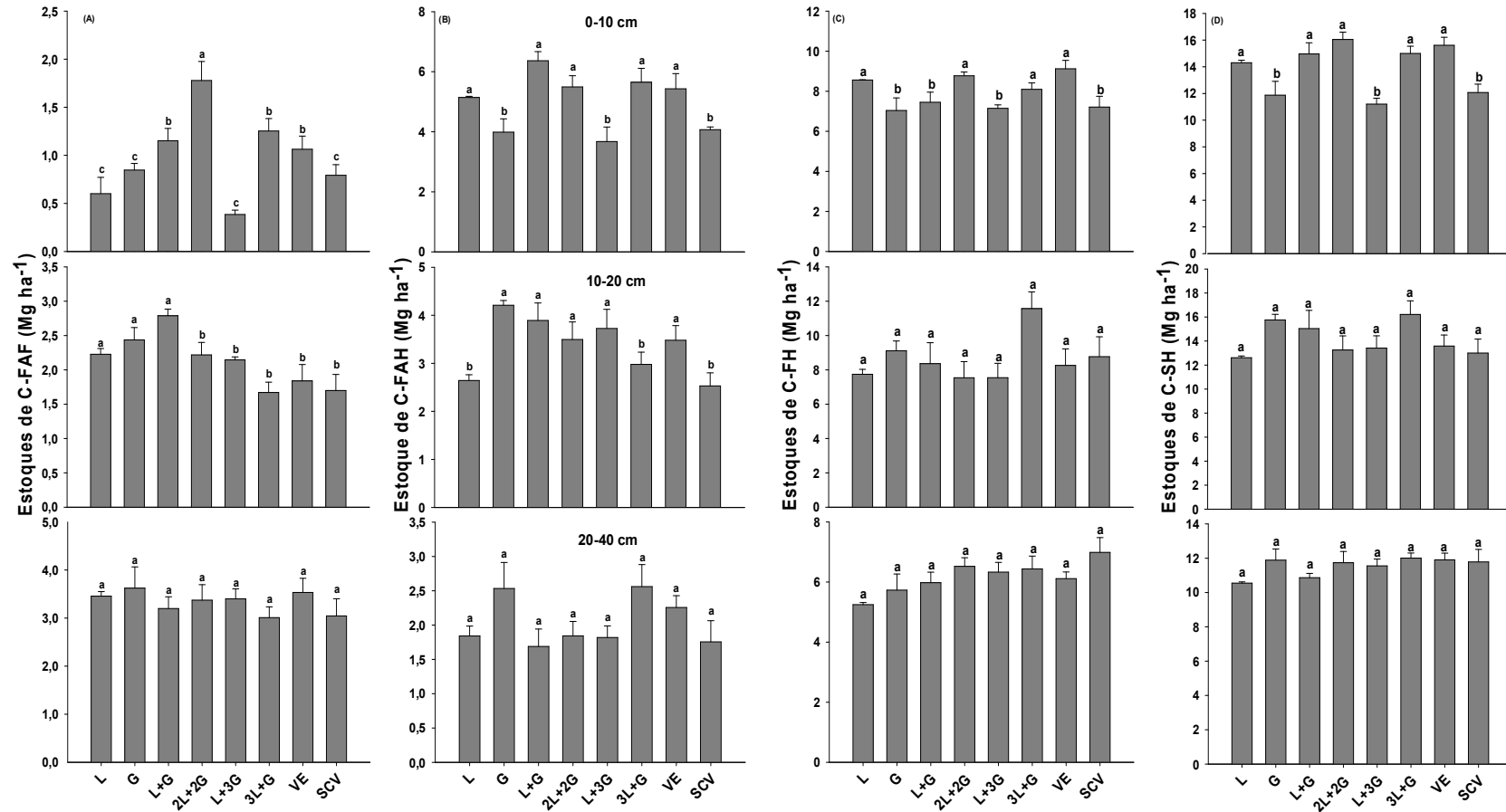


Figura 5. Estoques de C na fração ácidos fúlvicos (FAF) (A), fração ácidos húmicos (FAH) (B), fração huminas (FH) (C) e substâncias húmicas (SH) (D) nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade do solo aos 365 dias após a semeadura (DAS) dos adubos verdes. Guandu (L), Milheto (G), Guandu+Milheto (L+G), Guandu+Crotalária+Milheto+Sorgo (2L+2G), Guandu+Milheto+Sorgo+Milho (L+3G), Guandu+Crotalária+Feijão de Porco+Milheto (3L+G), Vegetação espontânea (VE) e sem cobertura vegetal (SCV). Diferentes letras minúsculas indicam diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste de Skott-Knott ($\alpha = 0,05$) ($n=4$).

O manejo com plantas de cobertura como adubos verdes precedendo, simultaneamente ou após a implantação da cultura principal é considerada uma importante técnica agrônômica no semiárido com o intuito de melhorar a qualidade do solo e conseqüentemente a produção das culturas (BRENNAN e ACOSTA-MARTINEZ, 2017; OLIVEIRA et al., 2017; PEREIRA FILHO et al., 2016). Este manejo permite a movimentação dos nutrientes das camadas mais profundas do solo, extraídos por meio do sistema radicular, para a superfície, após o corte da fitomassa das espécies (Gramíneas e leguminosas) e sua decomposição pela ação dos microrganismos (GIONGO, et al., 2011). Ademais, o aporte de resíduos vegetais a superfície promove a proteção do solo das chuvas de elevada intensidade, evitando a desagregação do solo e o selamento superficial, fornecem substratos para a população microbiana do solo, considerados como os principais agentes na formação e estabilização dos agregados (BRUNETTO et al., 2016). Além de permitir a manutenção e/ou incrementos nos estoques de C nas frações da MOS, como observados neste estudo.

Em todos os tratamentos avaliados, os estoques de C nas frações húmicas do solo seguiram a ordem decrescente: FH>FAH>FAF. Diversos trabalhos, também observaram que o estoque de C na FAH normalmente é superior ao estoque de C na FAF (SONG et al., 2017; XU et al., 2017; MARTINS et al., 2015; CARDOSO et al., 2015). Em estudo realizado usando coquetéis vegetais (leguminosas e não-leguminosas) na linha de cultivo da mangueira irrigada em Argissolo Amarelo de textura média/argilosa em Petrolina-PE, Cunha et al. (2016) também observaram que o estoque de C da FH foi predominante em relação ao estoque de C das demais frações húmicas na camada 0-20 cm. Aumento nos estoques de SH, especialmente na FAH na presença de Ca, promove a formação de agregados estáveis, o que, por sua vez, afeta positivamente a capacidade de retenção de água, a porosidade, e permeabilidade de diferentes tipos de solo (WEBER et al., 2018).

O processo de estabilização da MOS, normalmente, começa com a formação de FAF e segue em direção a FAH e depois FH. Mudanças iniciais são esperadas na FAF, já que reflete o primeiro estágio em direção à estabilização da matéria orgânica (ROSA et al., 2017). A FH indica a presença de matéria orgânica recalcitrante e fortemente estabilizada com a matriz mineral (proteção química/coloidal) (ROSA et al., 2017; XAVIER et al., 2013), sugerindo que a fração mineral é essencial para o acúmulo e preservação de C humificado em solos com maior teor

de areia (MARTINS GOMES et al., 2018), resultado no aumento dos estoques de C, através do processo herança de compostos de resíduos vegetais, especialmente, da lignina (GERKE, 2018).

Por outro lado, a FAF corresponde à fração mais lábil das SH, devido ao seu baixo peso molecular e maior densidade de grupos carboxílicos, em comparação com outras frações, como FAH e FH (SILVA et al., 2016; SOUZA et al., 2016). Além disso, solos com textura arenosa (5,22 dag kg⁻¹ de argila), a FAF normalmente apresenta grande mobilidade no perfil do solo (SILVA et al., 2016). Portanto, o aumento dos estoques de C na FAH poderá contribuir com aspectos relacionados à fertilidade do solo e o acúmulo da MOS em formas mais estáveis (ROSA et al., 2017; MARTINS et al., 2015).

4.4. CONCLUSÕES

1. As frações da matéria orgânica do solo são diretamente afetadas pelos adubos verdes, sugerindo que a matéria orgânica é um indicador sensível da mudança na qualidade do solo.
2. O cultivo de adubos verdes na entrelinha da mangueira aumenta os estoques de carbono orgânico total e nitrogênio total na camada mais superficial do solo, com destaque para os tratamentos Guandu+Crotalária+Feijão de Porco+Milheto, Guandu+Milheto e Guandu+Crotalária+Milheto+Sorgo.
3. Os efeitos dos adubos verdes nos estoques de C das frações da matéria orgânica particulada, associada aos minerais e substâncias húmicas estão restritos a camada de 0-10 cm de profundidade do solo.
4. O cultivo de plantas de cobertura, leguminosas associadas com gramíneas, utilizadas como adubos verdes constitui uma importante estratégia de manejo para o sequestro de C no solo sob cultivo de mangueira nas condições semiáridas.

4.5. REFERÊNCIAS

ABF. **Anuário Brasileiro da Fruticultura**. (2018). Gazeta Santa Cruz LTDA (Eds.). Santa Cruz do Sul, Brasil, p. 92, 2018. Disponível em: <<http://www.editoragazeta.com.br/flip/anuario-fruticultura-2018/files/assets/basic-html/index.html#1>>. Acesso em maio de 2018.

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; DE SÁ MENDONÇA, E.; DA SILVA, I. R. & OLIVEIRA, E. K. Impacto da conversão floresta-pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. **Acta Amazônica**, v. 41, n. 1, p. 103-114, 2010.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J. & PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 7, p. 677-683, 2004.

BAYER, C.; SPAGNOLLO, E.; WILDNER, L. D. P.; ERNANI, P. R. & ALBUQUERQUE, J. A. Incremento de carbono e nitrogênio num Latossolo pelo uso de plantas estivais para cobertura do solo. **Ciência rural. Santa Maria**, v. 33, n. 3, p. 469-475, 2003.

BENITES, V. M.; MADARI, B. & MACHADO, P. L. O. A **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003; 7p.

BRANDÃO, S. S.; GIONGO, V.; OLSZEWSKI, N. & SALVIANO, A. M. Coquetéis vegetais e sistemas de manejo alterando a qualidade do solo e produtividade da mangueira. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 4, p. 1079-1089, 2017.

BRENNAN, E. B. & ACOSTA-MARTINEZ, V. Cover cropping frequency is the main driver of soil microbial changes during six years of organic vegetable production. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 109, p. 188-204, 2017.

BRUNETTO, G.; ROZANE, D. E.; MELO, G. W. B. D.; ZALAMENA, J.; GIROTTO, E.; LOURENZI, C.; COUTO, R.R.; TIECHER, T. & KAMINSKI, J. **Manejo da fertilidade de solos em pomares de frutíferas de clima temperado**. Cap. 9, p. 141-158, 2016.

BÜCHI, L.; WENDLING, M.; AMOSSÉ, C.; NECPALOVA, M. & CHARLES, R. Importance of cover crops in alleviating negative effects of reduced soil tillage and promoting soil fertility in a winter wheat cropping system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 256, p. 92-104, 2018.

CAMBARDELLA, C. A. & ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, n. 3, p. 777-783, 1992.

CARDOSO, J. A. F.; LIMA, A. M. N.; CUNHA, T. J. F.; RODRIGUES, M. S.; HERNANI, L. C.; AMARAL, A. J. D. & OLIVEIRA NETO, M. B. D. Organic matter fractions in a Quartzipsamment under cultivation of irrigated mango in the lower São Francisco Valley region, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 4, p. 1068-1078, 2015.

CASTRO, G. S.; CRUSCIOL, C. A.; CALONEGO, J. C. & ROSOLEM, C. A. Management impacts on soil organic matter of tropical soils. **Vadose Zone Journal**, v. 14, n. 1, p. 1-8, 2015.

CEPEA. **Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada**. 2017. Disponível em: <<http://www.hfbrasil.org.br/br/revista/acessar/completo/anuario-2017-2018.aspx>>. Acesso em março de 2018.

CHAUDHARY, D. R.; SAXENA, J. & DICK, R. P. Fate of carbon in water-stable aggregates during decomposition of ¹³C-labeled corn straw. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 45, n. 14, p. 1906-1917, 2014.

COTRUFO, M. F.; WALLENSTEIN, M. D.; BOOT, C. M.; DENEFF, K. & PAUL, E. The microbial Efficiency-Matrix Stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: do labile plant inputs form stable soil organic matter?. **Global Change Biology**, v. 19, n. 4, p. 988-995, 2013.

CUNHA, T. J. F.; GIONGO, V.; SALVIANO, A. M.; MARQUES, F. A. & CANELLAS, L. P. Humified fraction of organic matter due to plant mixture cultivation. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 3, p. 578-586, 2016.

DEMOLINARI, M. D. S. M.; SOUSA, R. N. D.; SILVA, I. R. D.; TEIXEIRA, R. D. S.; NEVES, J. C. L. & MENDES, G. D. O. Effect of mineral nitrogen on transfer of ¹³C-carbon from eucalyptus Harvest residue components to soil organic matter fractions. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, p. 1-12, 2017.

DONAGEMA, G.K.; CAMPOS, D.V.B.; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G.; VIANA, J.H.M. (Org.). **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

DORTZBACH, D.; GERVASIO PEREIRA, M.; BLAINSKI, É. & PAZ GONZÁLEZ, A. Estoque de C e abundância natural de ¹³C em razão da conversão de áreas de floresta e pastagem em bioma Mata Atlântica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 6, p. 1643-1660, 2015.

DUVAL, M. E.; GALANTINI, J. A.; CAPURRO, J. E. & MARTINEZ, J. M. Winter cover crops in soybean monoculture: Effects on soil organic carbon and its fractions. **Soil and Tillage Research**, v. 161, p. 95-105, 2016.

GHAFOOR, A.; POEPLAU, C. & KÄTTERER, T. Fate of straw-and root-derived carbon in a Swedish agricultural soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 53, n. 2, p. 257-267, 2017.

GERKE, J. Concepts and misconceptions of humic substances as the stable part of soil organic matter: a review. **Agronomy**, v. 8, n. 5, p. 76, 2018.

GIONGO, V.; SALVIANO, A.M.; FERREIRA CUNHA, T. J. & SILVA GALVÃO, S. R. Decomposição e liberação de nutrientes de coquetéis vegetais para utilização no Semiárido brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 3, p. 611-618, 2011.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G. & PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 3, p. 909-919, 2012.

HADDIX, M. L.; PAUL, E. A. & COTRUFO, M. F. Dual, differential isotope labeling shows the preferential movement of labile plant constituents into mineral-bonded soil organic matter. **Global Change Biology**, v. 22, n. 6, p. 2301-2312, 2016.

HAYNES, R. J. Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: an overview. **Advances in agronomy**, v. 85, p. 221-268, 2005.

HORWATH, W. Carbon cycling: the dynamics and formation of organic matter. **Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry**, cap. 12, p. 339-282, 2015.

LAVALLEE, J. M.; CONANT, R. T.; PAUL, E. A. & COTRUFO, M. F. Incorporation of shoot versus root-derived ¹³C and ¹⁵N into mineral-associated organic matter fractions: results of a soil slurry incubation with dual-labelled plant material. **Biogeochemistry**, v. 137, n. 3, p. 379-393, 2018.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; CUNHA DOS ANJOS, L. H. & RIBEIRO DA SILVA, E. M. Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em diferentes sistemas de produção orgânica. **Idesia (Arica)**, v. 29, n. 2, p. 11-19, 2014.

MARTINS GOMES, E. T.; BERBARA, R. L. L.; PEREIRA, M. G.; URQUIAGA, S. S.; TAVARES, O. C. H.; ASSUNÇÃO, S. A.; ZONTA, E.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. & GARCÍA, A. C. Effects of farmed managements in sandy soils on composition and stabilization of soil humic substances. **Land Degradation & Development**, v. 29, n. 1, p. 68-79, 2018.

MARTINS, C. M.; COSTA, L. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SOARES, E. M. B. & SANTOS, S. R. Frações da matéria orgânica em solos sob formações decíduais no norte de Minas Gerais. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 4, p. 10-20, 2015.

MAZZILLI, S. R.; KEMANIAN, A. R.; ERNST, O. R.; JACKSON, R. B. & PINEIRO, G. Greater humification of belowground than aboveground biomass carbon into particulate soil organic matter in no-till corn and soybean crops. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 85, p. 22-30, 2015.

MILLARD, P.; MIDWOOD, A. J.; HUNT, J. E.; BARBOUR, M. M. & WHITEHEAD, D. Quantifying the contribution of soil organic matter turnover to forest soil respiration, using natural abundance $\delta^{13}\text{C}$. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, n. 6, p. 935-943, 2010.

OLIVEIRA, K. J.; LIMA, J. S.; AMBRÓSIO, M. M. D. Q.; NETO, F. B. & CHAVES, A. P. Propriedades nutricionais e microbiológicas do solo influenciadas pela adubação verde. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 1, p. 23-33, 2017.

OLIVEIRA, F. É. R. D.; OLIVEIRA, J. D. M. & XAVIER, F. A. D. S. Changes in soil organic carbon fractions in response to cover crops in an orange orchard. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, p. 1-12, 2016.

PEREIRA FILHO, A.; TEIXEIRA FILHO, J. E.; GIONGO, V.; SIMOES, W. L. & LAL, R. Nutrients dynamics in soil solution at the outset of no-till implementation with the use of plant cocktails in Brazilian semi-arid. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 4, p. 234-246, 2016.

RAPHAEL, J. P.; CALONEGO, J. C.; MILORI, D. M. B. & ROSOLEM, C. A. Soil organic matter in crop rotations under no-till. **Soil And Tillage Research**, v. 155, p. 45-53, 2016.

RIBEIRO, K.; SOUSA-NETO, E. R.; CARVALHO JUNIOR, J. A.; LIMA, J. R. S.; MENEZES, R. S. C.; DUARTE-NETO, P. J. & OMETTO, J. P. H. B. Land cover changes and greenhouse gas emissions in two different soil covers in the Brazilian Caatinga. **Science of The Total Environment**, v. 571, p. 1048-1057, 2016.

RIVERO HERRADA, M.; MOZENA LEANDRO, W. & FERREIRA, E. P. D. B. Leguminosas isoladas e consorciadas com milho em diferentes sistemas de manejo do solo no feijão orgânico. **Terra Latinoamericana**, v. 35, n. 4, p. 293-299, 2017.

ROSA, D. M.; NÓBREGA, L. H.; MAULI, M. M.; DE LIMA, G. P. & PACHECO, F. P. Substâncias húmicas do solo cultivado com plantas de cobertura em rotação com milho e soja. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 2, p. 221, 2017.

ROSOLEM, C. A.; LI, Y. & GARCIA, R. A. Soil carbon as affected by cover crops under no-till under tropical climate. **Soil Use and Management**, v. 32, n. 4, p. 495-503, 2016.

RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte+ argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 297-300, 2005.

SACRAMENTO, J. A. A. S. D.; ARAÚJO, A. C. D. M.; ESCOBAR, M. E. O.; XAVIER, F. A. D. S.; CAVALCANTE, A. C. R. & OLIVEIRA, T. S. D. Soil carbon and nitrogen stocks in traditional agricultural and agroforestry systems in the semiarid region of Brazil. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 3, p. 784-795, 2013.

SANTOS, T. L.; NUNES, A. B. A.; GIONGO, V.; DA SILVA BARROS, V. & FIGUEIRÊDO, M. C. B. Cleaner fruit production with green manure: The case of Brazilian melons. **Journal of Cleaner Production**, v. 181, p. 260-270, 2018.

SCHIEDUNG, M.; DON, A.; WORDELL-DIETRICH, P.; ALCÁNTARA, V.; KUNER, P. & GUGGENBERGER, G. Thermal oxidation does not fractionate soil organic carbon with differing biological stabilities. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 180, n. 1, p. 18-26, 2017.

SHAHBAZ, M.; KUZYAKOV, Y. & HEITKAMP, F. Decrease of soil organic matter stabilization with increasing inputs: mechanisms and controls. **Geoderma**, v. 304, p. 76-82, 2017.

SHAHBAZ, M.; KUZYAKOV, Y.; SANAUULLAH, M.; HEITKAMP, F.; ZELENEV, V.; KUMAR, A. & BLAGODATSKAYA, E. Microbial decomposition of soil organic matter is mediated by quality and quantity of crop residues: mechanisms and thresholds. **Biology and Fertility of Soils**, v. 53, n. 3, p. 287-301, 2017.

SILVA, K. A.; RODRIGUES, M. S.; CUNHA, J. C.; ALVES, D. C.; FREITAS, H. R. & LIMA, A. M. N. Levantamento de solos utilizando geoestatística em uma área de experimentação agrícola em Petrolina-PE. **Comunicata Scientiae**, v. 8, n. 1, p. 175-180, 2017.

SILVA, F. C. **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**. 2ªediçã, revisão ampliada. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.

SILVA, J. R.; SILVA, D. J.; GAVA, C. A. T.; OLIVEIRA, T. C. T. D. & FREITAS, M. D. S. C. D. Carbon in humic fractions of organic matter in soil treated with organic composts under mango cultivation. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, p.1-11, 2016.

SILVA, K. A.; RODRIGUES, M. S.; CUNHA, J. C.; ALVES, D. C.; FREITAS, H. R. & LIMA, A. M. N. Levantamento de solos utilizando geoestatística em uma área de experimentação agrícola em Petrolina-PE. **Comunicata Scientiae**, v. 8, n. 1, p. 175-180, 2017.

SMITH, B. N. & EPSTEIN, S. Two categories of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios for higher plants. **Plant physiology**, v. 47, n. 3, p. 380-384, 1971.

SONG, G.; NOVOTNY, E. H.; MAO, J. D. & HAYES, M. H. Characterization of transformations of maize residues into soil organic matter. **Science of the Total Environment**, v. 579, p. 1843-1854, 2017.

SOUZA COSTA, F. D.; BAYER, C.; ACORDI ZANATTA, J. & 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 Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 323-332, 2008.

SOUZA, E. B.; MELO JÚNIOR, J. C. F.; ANDRADE, I. G. V.; SILVA, A. R. **Probabilidade de ocorrência da evapotranspiração de referência (ET₀) para o município de Petrolina, PE**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, v. 43, 2014, Campo Grande, 2014. 4p.

SOUZA, G. P.; DE FIGUEIREDO, C. C. & DE SOUSA, D. M. G. Matéria orgânica do solo influenciada por sistemas de manejo, adubação fosfatada e plantas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1668-1676, 2016.

SRINIVASARAO, C.; KUNDU, S.; SHANKER, A. K.; NAIK, R. P.; VANAJA, M., VENKANNA, K.; MARUTHI, G.R.S. & RAO, V. U. M. Continuous cropping under elevated CO₂: differential effects on C₄ and C₃ crops, soil properties and carbon dynamics in semiarid Alfisols. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 218, p. 73-86, 2016.

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

UKALSKA-JARUGA, A.; DEBAENE, G. & SMRECZAK, B. Particle and structure characterization of fulvic acids from agricultural soils. **Journal of Soils and Sediments**, v. 18, n. 8, p. 1-11, 2018.

WEBER, J.; CHEN, Y.; JAMROZ, E. & MIANO, T. Preface: humic substances in the environment. **Journal of Soils and Sediments**, v. 18, p. 2665–2667, 2018.

WITTEWER, R. A.; DORN, B.; JOSSI, W. & VAN DER HEIJDEN, M. G. Cover crops support ecological intensification of arable cropping systems. **Scientific Reports**, v. 7, p. 1-12, 2017.

XAVIER, F. A. D. S.; MAIA, S. M. F.; RIBEIRO, K. A.; DE SÁ MENDONÇA, E. & DE OLIVEIRA, T. S. Effect of cover plants on soil C and N dynamics in different soil management systems in dwarf cashew culture. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 165, p. 173-183, 2013.

XU, J.; ZHAO, B.; CHU, W.; MAO, J. & ZHANG, J. Chemical nature of humic substances in two typical Chinese soils (upland vs paddy soil): A comparative advanced solid state NMR study. **Science of the Total Environment**, v. 576, p. 444-452, 2017.

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

ZANG, H.; BLAGODATSKAYA, E.; WEN, Y.; XU, X.; DYCKMANS, J. & KUZYAKOV, Y. Carbon sequestration and turnover in soil under the energy crop *Miscanthus*: repeated ¹³C natural abundance approach and literature synthesis. **GCB Bioenergy**, v. 10, n. 4, p. 262-271, 2018.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de adubos verdes (leguminosas e gramíneas), solteiro ou combinados, influenciam os fluxos superficiais totais de C-CO₂ e C-CH₄ durante o processo de decomposição da fitomassa aportada ao solo. Os fluxos superficiais de C-CO₂ derivados dos adubos verdes contribuíram com maior proporção para os fluxos superficiais totais de C-CO₂ do solo, demonstrando a preferência da decomposição pelos microrganismos, favorecendo a manutenção do C nativo no solo.

O cultivo de adubos verdes, com destaque para a combinação Guandu + Crotalária + Feijão-de-Porco + Milheto, Guandu + Milheto e Guandu + Crotalária + Milheto + Sorgo, na entrelinha da mangueira aumenta os estoques de carbono orgânico total, nitrogênio total e C nas frações da MOS, na camada mais superficial do solo.

A adoção da prática de adubação verde nas entrelinhas de cultivo de mangueira irrigada favorece o efeito priming negativo do C do solo, sendo uma importante estratégia de manejo para o sequestro de C no solo nas condições semiáridas.