

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE GARANHUNS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO AGRÍCOLA

**ADUBAÇÃO VERDE: CICLAGEM DE NUTRIENTES E ATRIBUTOS QUÍMICOS
E BIOLÓGICOS EM SOLO CULTIVADO COM CAFÉ ORGÂNICO**

RAQUEL BEZERRA DE BARROS

**SOB ORIENTAÇÃO DO PROFESSOR
DR. GUSTAVO PEREIRA DUDA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Produção Agrícola, para obtenção do título de *Mestre*.

GARANHUNS
PERNAMBUCO - BRASIL
JULHO - 2012

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE GARANHUNS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO AGRÍCOLA

**ADUBAÇÃO VERDE: CICLAGEM DE NUTRIENTES E ATRIBUTOS QUÍMICOS
E BIOLÓGICOS EM SOLO CULTIVADO COM CAFÉ ORGÂNICO**

RAQUEL BEZERRA DE BARROS

GARANHUNS
PERNAMBUCO - BRASIL
JULHO - 2012

Ficha Catalográfica
Setor de Processos Técnicos da Biblioteca Setorial UFRPE/UAG

B277a Barros, Raquel Bezerra de

Adubação verde: ciclagem de nutrientes químicos e biológicos em solo cultivado com café orgânico / Raquel Bezerra de Barros. _Garanhuns, 2012.

68 f

Orientador: Gustavo Pereira Duda
Dissertação (Curso de Mestrado Produção Agrícola) –
Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade
Acadêmica de Garanhuns, 2012

Inclui apêndice e bibliografias

CDD 633.874

1. Adubos
 2. Solos-Manejo
 3. ácidos orgânicos e biológicos
- I. Duda, Gustavo Pereira
 - II. Título

**ADUBAÇÃO VERDE: CICLAGEM DE NUTRIENTES E ATRIBUTOS QUÍMICOS
E BIOLÓGICOS EM SOLO CULTIVADO COM CAFÉ ORGÂNICO**

RAQUEL BEZERRA DE BARROS

APROVADO EM: **25 DE JULHO** DE 2012

Dr.^a. Alessandra Monteiro S. Mendes

Dr.^a. Patrícia Maia de Moura

Dr. Edicarlos Damacena de Souza

Dr. Gustavo Pereira Duda

*A meus pais Eunice e José Aluizio,
A meus irmãos Viviane, Gustavo e Henrique e meu sobrinho José Henrique,
e aos meus amigos pelo apoio e confiança dedicados a mim, e pelo muito que representam
pra mim...*

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus por me permitir receber tantas graças na vida.

Aos meus pais (Eunice e José Aluizio) que dentro dos seus limites, compreendem, ensinam, e contribuem com todo o apoio, carinho e amor.

A meus irmãos (Viviane, Gustavo e Henrique) pela compreensão, amizade, incentivo e apoio para realização deste curso.

A meu sobrinho José Henrique e sobrinha de coração Letícia pelos instantes de descontração e alegria.

À UAG-UFRPE, a FACEPE e a CAPES pela concessão da bolsa de pós-graduação, apoio na realização das análises e aporte financeiro.

A UAG/UFRPE, pela oportunidade de poder fazer a Graduação e o Mestrado.

Ao programa de Pós Graduação em Produção Agrícola na Unidade Acadêmica de Garanhuns e CENLAG(O Centro Laboratorial de Apoio à Pesquisa da Unidade Acadêmica de Garanhuns), pela disponibilidade no uso de equipamentos e utensílios para realização das análises.

Ao Professor Gustavo Pereira Duda pela oportunidade, orientação, confiança, paciência e compreensão demonstrada ao longo desses anos.

A Co-Orientadora Professora Erika Valente pela paciência e ensinamentos.

A Professora Gabriela e Marcelo Del Grande pelos ensinamentos e contribuições para realização deste trabalho.

Aos membros da banca por aceitarem avaliar este trabalho e por contribuírem com sua experiência.

Aos alunos de Graduação, amigos e colegas de laboratório: Cidney Bezerra, Wendson, Luiz, Bruna, Wellington, Cataliny Andreza, Júnior, Aline, Krystal Notaro e Jamily pela paciência e grande colaboração na realização deste trabalho.

Aos amigos de coração que torceram por mim, e que me deram apoio e carinho em momentos difíceis: Barbara Dutra, Juliana Maria dos Santos, Juliana Pontes, Aridiane Ferraz (Xuxinha), Carlos José de Moura, José Ricardo, Denise Bezerra, Daneane Bezerra, Danyel Viana, Anderley Santos e Luciana Melo.

Ao meu companheiro Jomel Francisco pelo carinho, força, apoio e incentivo em todos esses anos juntos.

Ao agricultor João Ambrósio, por permitir que este trabalho tenha sido realizado em sua propriedade, e sempre nos recebendo com boa vontade e empolgação, muito obrigada!

Em especial gostaria de agradecer a Pollyanna Vilar, Erica Oliveira e Patrícia Maia pela força e contribuição neste trabalho, e ao meu amigo fiel e companheiro de todas as horas Uemeson José, por ter sido meu braço direito em todos os momentos alegres e tristes, me apoiando para que hoje este trabalho tenha sido concluído, muito obrigada por todo carinho e atenção dedicados a mim e a este projeto.

Enfim a todos aqueles que ajudaram, direta ou indiretamente, na elaboração deste trabalho, mas que por esquecimento ou desatenção não foram citados por mim nestas páginas, o meu muito obrigada!

BIOGRAFIA

RAQUEL BEZERRA DE BARROS, filha de Eunice Bezerra de Barros e José Aluizio Paes de Barros, nascida em 02 de Julho de 1985, em Garanhuns-PE.

Em 2005, ingressou no curso de Agronomia pela Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Garanhuns – UAG/UFRPE, graduando-se em 2010.

Em agosto do mesmo ano, iniciou no curso de Mestrado pelo Programa de Pós-Graduação em Produção Agrícola na mesma Instituição, submetendo-se a defesa pública de dissertação em Julho de 2012.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	1
ABSTRACT GENERAL.....	1
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	3
CAPÍTULO I	5
PRODUÇÃO DE FITOMASSA E ACÚMULO DE NUTRIENTES EM LEGUMINOSAS UTILIZADAS COMO ADUBO VERDE NO AGRESTE PERNAMBUCANO.	5
RESUMO.....	6
1. INTRODUÇÃO	8
2. MATERIAL E MÉTODOS	9
2.1. Localização e amostragem da área de estudo	9
2.2. Análise química material vegetal	12
2.3. Análise estatística.....	13
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
4. CONCLUSÕES.....	22
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23
CAPÍTULO II	28
ATRIBUTOS QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DE UM SOLO SOB CULTIVO DE ADUBOS VERDES NO AGRESTE PERNAMBUCANO	28
RESUMO.....	26
ABSTRACT.....	27
1. INTRODUÇÃO.....	28
2. MATERIAL E MÉTODOS	29
2.1. Descrição da área de Estudo	29
2.2. Análise química do solo	30
2.3. Análise microbiológica	31
2.4. Análise Estatística	32
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
3.1. Atributos químicos e Microbiológicos	32

3.2. Frações de Carbono Oxidáveis.....	40
3.3. Fósforo Orgânico lábil.....	42
4. CONCLUSÕES.....	44
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
CAPÍTULO III.....	51
ÁCIDOS ORGÂNICOS DE BAIXO PESO MOLECULAR EM SOLOS SOB CULTIVO DE DIFERENTES ADUBOS VERDES NO AGRESTILOSANTESE PERNAMBUCANO	51
RESUMO.....	52
ABSTRACT.....	53
1. INTRODUÇÃO.....	54
2. MATERIAIS E MÈTODOS	55
2.1. Descrição da área de Estudo.....	55
2.2. Extração e quantificação dos ácidos orgânicos	56
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
4. CONCLUSÃO	64
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
APÊNDICE.....	67

RESUMO GERAL

O uso de leguminosas como adubação verde é utilizada como alternativa para melhoria da qualidade física, química e biológica do solo. Seu uso consorciado com o café no Agreste pernambucano pode proporcionar aos produtores da região economia quanto ao uso de insumos externos, bem como melhoria na qualidade do produto final. Nesse contexto, o trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar as leguminosas quanto à produção de fitomassa, extração e ciclagem de nutrientes solo-planta, atividade microbiana e produção de ácidos orgânicos de baixo peso molecular em solo cultivado com café orgânico. O experimento foi instalado no Sítio São José do Campo Cumprido no Município de Garanhuns-PE. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com 7 tratamentos: Vegetação espontânea + esterco de galinha; Calopogônio; Estilosantes; Crotalária; Feijão Guandu Anão; Puerária e Soja perene, e 4 repetições. Foram realizados dois cortes para análise dos resultados, correspondendo a 120 e 365 Dias Após a Semeadura. A maior produção de fitomassa seca foi obtida para as espécies Calopogônio, Crotalária e Feijão Guandu Anão aos 120 Dias Após a Semeadura e Estilosantes e Feijão Guandu Anão aos 365 Dias Após a Semeadura. O maior acúmulo de nutrientes na parte aérea das leguminosas foram obtidos para Crotalária e Estilosantes, aos 120 e 365 Dias Após a Semeadura, respectivamente. A biomassa microbiana foi maior para a espécie Estilosantes aos 120 Dias Após a Semeadura e para o Estilosantes e Soja Perene aos 365 Dias Após a Semeadura. A espécie Crotalária apresentou maior teor de fósforo orgânico lábil aos 365 Dias Após a Semeadura. O ácido orgânico de baixo peso molecular predominante foi o ácido propiônico, em que esteve presente no solo de todos os tratamentos avaliados, sendo sua maior concentração observada na presença de Estilosantes. Os ácidos Orgânicos Isobutírico e Shiquímico foram detectados na parte aérea da vegetação espontânea+esterco e Calopogônio respectivamente. Em geral, a espécie Estilosantes foi aquela a apresentar melhoria nos atributos químicos e biológicos do solo, sendo seu uso recomendado para o agreste pernambucano.

Palavras chave: leguminosas, atividade microbiana, fertilidade do solo, ácidos orgânicos.

ABSTRACT GENERAL

The use of leguminous green manure is used as an alternative for improving the physical, chemical and biological soil. Your use intercropped with coffee in the Pernambucan can provide savings for producers in the region regarding the use of external inputs, and improvement in the quality of the final product. In this context, the study was to evaluate the legumes regarding biomass production, harvesting and soil nutrient cycling, plant, microbial activity and production of organic acids of low molecular weight in soil cultivated with organic coffee. The experiment was conducted in Sitio Sao Jose do Campo in the City of Fulfilled Garanhuns-PE. The experimental design was randomized blocks with 7 treatments: spontaneous vegetation + chicken manure; Calopogonio; Estilosantes; Crotalaria; Guandu Dwarf Beans, Soy and Kudzu perennial, and 4 reps. Two cuts were performed to analyze the results, corresponding to 120 and 365 days after sowing. The highest production of dry biomass was obtained pair Calopogonio species, Crotalaria and Guandu Dwarf Bean to 120 Days After Sowing and Estilosantes and Guandu Dwarf Bean at 365 days after sowing. The largest accumulation of nutrients in shoots of Crotalaria legumes were obtained for Estilosantes and at 120 and 365 days after sowing, respectively. The microbial biomass was greater for the species Esilosantes to 120 Days After Sowing and the Perennial Soybean Estilosantes and at 365 days after sowing. The Crotalaria species showed a higher content of labile organic phosphorus at 365 days after sowing. The organic acid of low molecular weight was the predominant propionic acid, which was present in the soil of all treatments evaluated, and its largest concentration observed in the presence of Estilosantes. Organic acids and shikimic isobutyric were detected in shoots of spontaneous vegetation and manure + Calopogonio respectively. In general, the species was Estilosantes that the present improvement in chemical and biological attributes of soil, and its use is recommended for rural Pernambuco.

Keywords: legumes, microbial activity, soil fertility, organic acids.

1. INTRODUÇÃO GERAL

O café (*Coffea arabica* L.), uma das culturas mais difundidas no comércio internacional, é cultivado, principalmente por pequenos agricultores, em mais de 80 países no mundo. O Brasil é o maior produtor mundial com mais de dois milhões de toneladas em 2009, sendo 83% deste volume produzido na Região Sudeste. Em Pernambuco, a história do cultivo do café tem tradição desde o século XVIII, sendo sua produção concentrada nos municípios do Agreste, mais precisamente no município de Garanhuns devido às características climáticas e de altitude, principalmente considerando que a espécie predominante é a arábica.

A perda da capacidade produtiva dos solos é provocada pelo uso intensivo e inapropriado dos solos, para reverter esta situação existem praticas capazes de melhorar os atributos químicos, físicos e biológicos, como o uso de adubação verde. Esta pratica possibilita uma melhor aeração do solo, a formação de camada de matéria orgânica favorecendo os microorganismos do solo, manutenção da temperatura do solo pela formação de palhada, proteção contra erosões, reciclagem e mobilização de nutrientes (N, P, K, Ca e Mn), principalmente pelo enriquecimento do solo em nitrogênio oriundo da massa vegetal decomposta e na eficiência de aproveitamento dos nutrientes pela cultura.

A cobertura vegetal promovida pelo uso de adubos verdes proporciona condições satisfatórias de umidade e temperatura para aumento da atividade microbiana. Este manejo atua diretamente na persistência dos resíduos no solo, no tamanho da biomassa microbiana e, conseqüentemente, na sustentabilidade dos agroecossistemas. A biomassa microbiana é uns dos bioindicadores utilizados para observar a influencia do tipo de sistema na melhoria da qualidade do solo, uma vez que constitui a maior fração ativa na dinâmica da matéria orgânica do solo e, portanto, é sensível às mudanças iniciais no conteúdo da matéria orgânica, causadas pelas práticas de cultivo.

Um parâmetro inovador que vem sendo utilizado é a produção de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, que representa o produto da decomposição de resíduos orgânicos. Os ácidos orgânicos apresentam baixa resistência no solo, no entanto, são mantidos em valores relativamente constantes e estão associados entre outros fatores ao aumento da

disponibilidade de Fósforo e maior disponibilidade de cátions ao longo do perfil. A liberação e concentração desses compostos no solo estão condicionadas ao tipo de espécie e condições de estresse a qual estão submetidas.

Apesar das vantagens de utilização da adubação verde, não há estudos para avaliar a eficiência das leguminosas na ciclagem de nutrientes e melhoria da qualidade do solo na região Agreste de Pernambuco. Nesse contexto, o trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a produção de fitomassa, extração e ciclagem de nutrientes solo-planta e produção de ácidos orgânicos de baixo peso molecular em solo cultivado com café orgânico.

CAPÍTULO I

PRODUÇÃO DE FITOMASSA E ACÚMULO DE NUTRIENTES EM LEGUMINOSAS UTILIZADAS COMO ADUBO VERDE NO AGRESTE PERNAMBUCANO.

RESUMO

As espécies leguminosas utilizadas como adubo verde são capazes de absorver nutrientes das camadas subsuperficiais do solo e os liberarem, posteriormente, na camada superficial, mediante a decomposição dos resíduos vegetais, promovendo o incremento na capacidade de reciclagem e mobilização de nutrientes. O objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes na parte aérea de leguminosas utilizadas como adubação verde no Agreste Pernambucano. O experimento foi instalado no Sítio São José do Campo Cumprido no Município de Garanhuns-PE. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com 7 tratamentos: Vegetação espontânea + esterco de galinha; Calopogônio; Estilosantes; Crotalária spectabilis; Feijão Guandu Anão; Puerária e Soja perene, e 4 repetições. As coletas do material vegetal foram feitas aos 120 e 365 dias após a semeadura (DAS). Da fitomassa seca, moídas e peneiradas foram realizadas as análises químicas (C, N, P e K). O Guandu Anão, Crotalária e Estilosantes obtiveram as maiores produções de fitomassa seca aos 120 DAS com $3,10 \text{ t.ha}^{-1}$, $2,65 \text{ t.ha}^{-1}$ e $2,18 \text{ t.ha}^{-1}$, respectivamente. Aos 365 DAS à Crotalária e Guandu Anão obtiveram maiores Fitomassa seca, com $3,06 \text{ t. ha}^{-1}$ e $2,0 \text{ t. ha}^{-1}$, respectivamente. As espécies de adubos verdes que apresentaram maiores acúmulos de nutrientes na parte aérea foram a Crotalária e Estilosantes aos 120 e 365 dias após a semeadura, respectivamente. As espécies leguminosas tiveram relação C/N inferior a 20 aos 120 e 365 DAS. As espécies Feijão Guandu Anão e Crotalária foram às espécies a apresentar maior produção de fitomassa para uso como cobertura do solo. As espécies de adubos verdes que apresentaram maiores acúmulos de nutrientes na parte aérea foram a Crotalária e Estilosantes aos 120 e 365 dias após a semeadura, respectivamente. As espécies Puerária e Soja Perene não se adaptaram bem a região, sendo sua indicação limitada para uso como adubo verde. O Calopogônio e a Soja Perene são as espécies que apresentam maior velocidade de decomposição e liberação dos nutrientes absorvidos.

Palavras chave: cobertura vegetal, ciclagem de nutrientes, macronutrientes.

ABSTRACT

The species used as green manure legumes are able to absorb nutrients from the subsurface soil layers and the release later in the surface layer, through the decomposition of plant residues, promoting the increase in recycling capacity and mobilization of nutrients. The aim of this study was to evaluate biomass production and nutrient accumulation in shoots of legumes used as green manure in Agreste Pernambucano. The experiment was conducted in Sitio Sao Jose do Campo in the City of Fulfilled Garanhuns-PE. The experimental design was randomized blocks with 7 treatments: spontaneous vegetation + chicken manure; Calopogonio; Estilosantes; Crotalaria spectabilis; Guandu Dwarf Beans, Soy and Kudzu perennial, and 4 reps. The samples of plant material were made at 120 and 365 days after sowing (DAS). Of dry matter, ground and sieved were performed chemical analyzes (C, N, P and K). The Guandu Dwarf Crotalaria Estilosantes and obtained the highest yields of dry biomass at 120 DAS with 3.10 t ha⁻¹, 2.65 t ha⁻¹ and 2.18 t ha⁻¹, respectively. At 365 DAS and Guandu to Crotalaria Dwarf obtained higher phytomass dry, with 3.06 t. ha⁻¹ and 2.0 t. ha⁻¹, respectively. The green manure species that showed higher accumulation of nutrients in the shoot were Crotalaria and Estilosantes at 120 and 365 days after sowing, respectively. Leguminous species had C / N ratios below 20 at 120 and 365 DAS. The species Guandu Dwarf Beans and Crotalaria species were to have higher biomass production for use as ground cover. The green manure species that showed higher accumulation of nutrients in the shoot were Crotalaria and Estilosantes at 120 and 365 days after sowing, respectively. The species Kudzu and Soybean Perennial did not adapt well to the region, and its limited indication for use as green manure. The Perennial Calopogonio and Soy are the species that have higher rates of decomposition and release of nutrients absorbed.

Keywords: vegetation, nutrient cycling, macronutrient.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de agricultura tradicional tem provocado uma redução da produtividade das culturas em geral, devido à perda de fertilidade do solo provocado pelo declínio de matéria orgânica e pela redução na ciclagem de nutrientes no solo, (QUEIROZ et al., 2007). A utilização da prática de adubação verde tem sido uma alternativa para recuperação da fertilidade natural desses solos.

Entre as espécies utilizadas como adubo verde estão as da família botânica Leguminosae, que são capazes de absorver nutrientes das camadas subsuperficiais do solo e os liberarem, posteriormente, na camada superficial, mediante a decomposição dos resíduos vegetais, promovendo o incremento na capacidade de reciclagem e mobilização de nutrientes lixiviados ou pouco solúvel (CALEGARI et al., 1993; DUDA et al., 2003).

No entanto, para maximização dos efeitos da prática de adubação verde, o sucesso está diretamente associado à quantidade de fitomassa adicionada ao solo, (KUO et al., 1997). De acordo com Teodoro et. al. (2011) a matéria seca é uma das principais propriedades morfoagronômicas utilizadas para avaliar os adubos verdes. Além de que, a produção de fitomassa e conseqüentemente, deposição de material vegetal ao solo é capaz de influenciar de forma positiva a retenção de nutrientes das plantas e diminuir as perdas por lixiviação.

De acordo com Queiroz et al. (2007) a avaliação do desempenho das leguminosas quanto ao maior potencial de produção de fitomassa, de reciclagem de nutrientes e a que melhor se ajuste ao sistema agrícola adotado, deve ser feito regionalizado, sendo assim, possível avaliar a capacidade de cada espécie como possível utilização como adubação verde, explorando seus efeitos benéficos ao solo, e conseqüentemente, as culturas subsequentes.

Assim o objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes na parte aérea de leguminosas utilizadas como adubo verde no Agreste Pernambucano em duas épocas do ano.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e amostragem da área de estudo

O experimento foi instalado em um Argissolo Amarelo, no Sítio São José do Campo Cumprido no Município de Garanhuns-PE, (8°57'28,24" Sul e 36°32'00,44" Oeste) a uma altitude de 750m. A área experimental consistiu de 1,0 hectare de um cafezal com 1 ano de plantio, no espaçamento de 2,5 x 1,0 m, sob sistema de irrigação por microaspersão. Foram coletadas amostras compostas de solo a 10 cm de profundidade em toda a área experimental, para análise química antes da semeadura das leguminosas (**Tabela 1**).

Tabela 1. Resultado da análise química do solo realizada antes da semeadura das leguminosas utilizadas como adubos verdes no município de Garanhuns- PE.

pH	P	Al	Ca	Mg	Na	K
(1:2,5)	mg/kg	-----cmol _c dm ⁻³ -----				
6,04	5,98	0,07	1,12	0,87	0,02	0,01

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (**Figura 1**), com 7 tratamentos e quatro repetições, sendo cada tratamento inserido nas entrelinhas do cafeeiro, correspondendo a 4 linhas de semeadura espaçadas em 0,5 m, deixando-se duas para bordadura e distantes da linha de cafeeiro em 0,5m, como pode ser observado na **Figura 3**.



Figura 1. Área do experimento e disposição dos blocos na área experimental

Cada parcela possuía 6,25 m² (3,0 x 2,08 m), sendo os 4 m² centrais de cada parcela sua área útil. A semeadura das leguminosas foi realizada em 4 linhas distantes entre si em 0,5 m e a profundidade de semeadura a 0,5m. As plantas de leguminosas ficaram distantes do café 0,5 m. As densidades de semeadura, realizada no dia 19 de abril de 2010, empregadas para as diferentes espécies estão apresentadas na **Tabela 2**.

Tabela 2. Densidade de semeadura para as espécies de coberturas utilizadas nos experimentos.

ESPÉCIES	NC	DENS (kg.ha ⁻¹)	HC	FLOR (Dias)
<i>Calopogonium mucunoides</i>	Calopogônio	10	Perene	100-120
<i>Stylosanthes Multilinea</i>	Estilosantes	6	Perene	90-100
<i>Crotalária Pereneetabilis Roth</i>	Crotalária	15	Anual	90-100
<i>Cajanus cajan</i>	Feijão Guandu Anão	35	Anual	90-120
<i>Puerária phaseoloides</i>	Puerária (Kudzu Tropical)	12	Perene	100-120
<i>Neonotonia wightii</i>	Soja Perene	6	Perene	150

* Fonte: Pirai Sementes. (2012). NC= Nome Comum, DENS.= densidade, HC= Hábito de Crescimento, FLOR= Florescimento.



Figura 2. Leguminosas utilizadas como adubo verde em consórcio com cafezal no agreste pernambucano. (a) Calopogônio, (b) Estilosantes, (c) Crotalária, (d) Feijão Guandu Anão, (e) Puerária e (f) Soja Perene.

Os tratamentos utilizados no presente estudo estão apresentados na **Figura 2**. Para o tratamento Vegetação espontânea + esterco, foram adicionados aproximadamente 3 Kg de esterco de galinha em toda parcela constituída pelo tratamento em cada bloco.



Figura 3. Semeadura dos tratamentos nas entrelinhas de café orgânico.

2.2. Análise química material vegetal

A coleta do material vegetal foi realizada aos 120 e 365 dias após a semeadura (DAS), utilizando-se um quadrado vazado com dimensão de $0,04 \text{ m}^2$ ($0,2 \times 0,2\text{m}$), jogado aleatoriamente na parcela útil. As amostras previamente identificadas foram pesadas para determinação da massa fresca e posteriormente colocadas em saco de papel para secagem em estufa de circulação forçada de ar, a 65°C , até obtenção de peso constante, efetuando-se, posteriormente, a pesagem das amostras para obtenção da fitomassa seca. Em seguida, as amostras do material vegetal foram moídas, passadas por peneiras de 1 mm de malha, armazenados para a realização da análise química

As digestões das plantas foram feitas por via úmida com aquecimento por micro-ondas, onde se pesaram 200 mg, do material seco e moído e colocados em tubos especiais de teflon PFA (perfluoro alquóxi etileno). Posteriormente, as amostras foram digeridas com

a mistura de 5 mL de ácido nítrico (70%) e 3 mL de peróxido de hidrogênio (30%) em forno de micro-ondas especial (marca CEM Mars-Xpress). A programação do aparelho para a digestão foi feita de acordo com a rampa de temperatura proposta por Almeida (2007). Posteriormente à digestão, as amostras foram avolumadas para 25 mL em balão volumétrico com água deionizada.

O fósforo (P) foi determinado por colorimetria, no comprimento de onda de 725 nm, o potássio (K⁺) por fotometria de chama (Embrapa, 2009). Os teores de Nitrogênio e Carbono Total das amostras foram determinadas via combustão a 925°C em um analisador elementar CHNS-O Perkin Elmer PE-2400.

2.3. Análise estatística

Em cada época de avaliação os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias dos dados comparadas pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. As análises foram realizadas pelo programa computacional Sistema para Análise de Variância - SISVAR (FERREIRA, 2000).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve diferença significativa para a fitomassa verde das diferentes leguminosas estudadas, nas duas épocas do ano. A espécie Crotalária apresentou maiores valores de fitomassa verde aos 120 DAS (**Figura 4**), isto pode ter ocorrido devido à crotalária apesar de ser uma planta suscetível as variáveis ambientais, apresentar uma velocidade de crescimento inicial muito rápida. Aos 365 DAS, o Estilosantes foi o que apresentou maior produção de fitomassa verde, no entanto, não diferiu de Feijão Guandu Anão e Puerária.

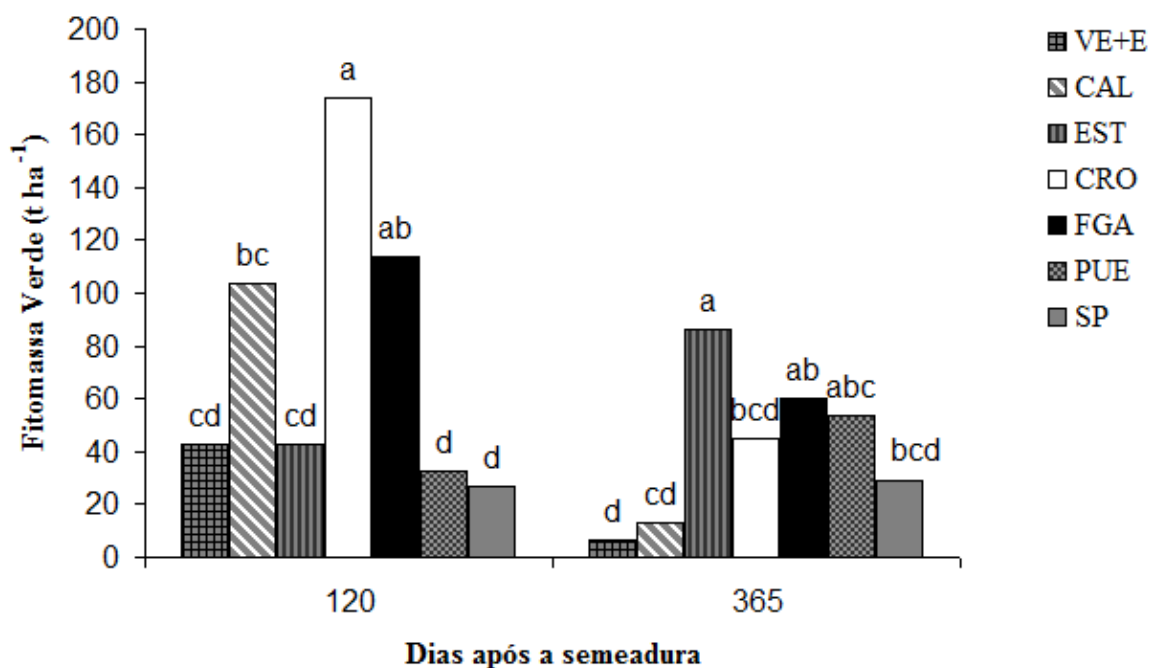


Figura 4. Produção de Fitomassa verde em diferentes leguminosas utilizadas como adubos verdes cultivados em consórcio com café orgânico. *Valores seguidos de letras iguais, na mesma época, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$). VE+E= Vegetação espontânea+esterco; CAL= calopogônio; EST= Estilosantes; CRO= Crotalária; FGA=Feijão Guandu Anão; PUE= Puerária e SP= Soja Perene.

Os resultados observados quanto à maior produção de fitomassa verde aos 120 DAS quando comparado aos 365 DAS, pode estar relacionado ao primeiro corte ter sido realizado no período chuvoso, proporcionado maior desenvolvimento por parte das leguminosas (ramos e folhas) e por apresentar um estande mais homogêneo, enquanto que no segundo corte, as leguminosas passaram por um período maior de alterações climáticas, como precipitação e temperatura.

Resultado semelhante ao primeiro corte foi observado em Saminêz et al. (2007) e Finholdt et al. (2009), no qual a Crotalária apresentou maior produção de massa fresca quando comparadas a outros adubos verdes. Para o segundo corte, Espíndola et al. (2005),

ao avaliarem a produção de fitomassa seca durante quatro anos, no primeiro ano de avaliação a maior produção de fitomassa seca foi obtida pelos Estilosantes (19,3 t ha⁻¹).

O menor valor obtido para o tratamento Soja Perene se deve ao fato do baixo desenvolvimento inicial observado em campo, no qual esta espécie não apresentou homogeneidade na parcela útil. O Estilosantes no ano seguinte foi a espécie a apresentar maior desenvolvimento, se destacando no segundo corte como aquele em maior produção de massa fresca pelo seu crescimento vertical bem desenvolvido.

Cabe ressaltar que tanto para o primeiro e segundo corte as espécies que apresentaram maiores valores de fitomassa verde e seca foram aquelas que possuem hábito de crescimento arbustivo, apresentando crescimento mais expressivo de fitomassa verde comparada às demais. Ainda o Calopogônio sendo uma planta de hábito rasteiro e trepador, se destacou na produção de fitomassa verde e seca no primeiro corte, isso se deve a grande adaptabilidade observada desta espécie às condições de campo no presente estudo, no qual apresentou completo desenvolvimento na parcela útil.

Para os valores de fitomassa seca, observa-se que o Guandu Anão apresentou os maiores valores aos 120 dias, não diferindo da Crotalária e Calopogônio, (**Figura 5**). Para os valores de fitomassa seca aos 365 dias após o corte, a espécie Estilosantes destacou-se na produção de fitomassa não diferindo da espécie Feijão Guandu Anão e Puerária. A elevada produção de fitomassa seca das leguminosas: Calopogônio, Estilosantes, Feijão Guandu Anão e Crotalária observada nos dois períodos de cortes revela que estas espécies encontram-se adaptadas às condições ambientais do experimento, podendo ser consideradas como espécies potenciais para o cultivo no Agreste Pernambucano, servindo assim como cobertura vegetal.

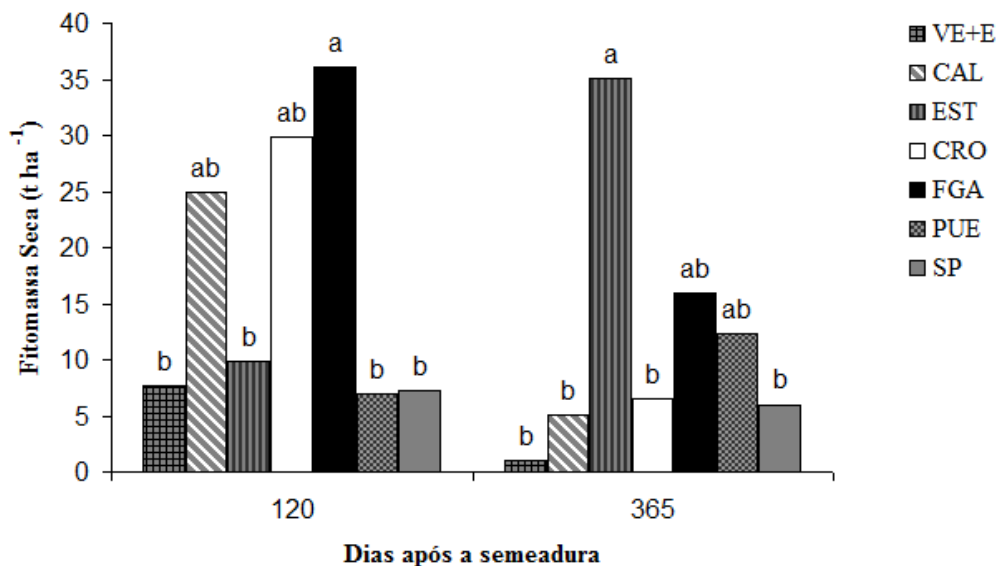


Figura 5. Fitomassa seca em diferentes leguminosas utilizadas como adubos verdes cultivadas com café orgânico. *Valores seguidos de letras iguais, na mesma época, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$). VE+E= Vegetação espontânea+esterco; CAL= calopogônio; EST= Estilosantes; CRO= Crotalária; FGA=Feijão Guandu Anão; PUE= Puerária e SP= Soja Perene.

Para os teores de N, P, K e C da parte aérea da vegetação espontânea e das leguminosas, onde houve diferença significativa para os teores avaliados nos diferentes adubos verdes. Para os teores de P a Puerária foi a que apresentou maiores teores quando relacionado às demais leguminosas aos 120 DAS ilustrando a capacidade dessa espécie em incorporar teores significativos desse nutriente. Este resultado difere dos encontrados por Cavalcante et al. (2012) no agreste alagoano, em que a Puerária apresentou menores teores de P quando comparadas a outras leguminosas como Calopogônio e Estilosantes. Aos 365 DAS a Soja Perene apresentou maiores teores de P, no entanto só diferiu significativamente do Calopogônio. A contribuição eficiente das espécies citadas em relação aos teores de P, principalmente no que se refere ao aumento dos teores para o segundo corte como observado na **Tabela 3**, provavelmente está relacionado às características morfológicas e de adaptação durante o ano de avaliação. De acordo com Wutke et al. (2009), tais espécies podem apresentar aspectos favoráveis quanto à rusticidade, tolerância a seca, sistema radicular pivotante com crescimento vigoroso e desenvolvimento em maiores profundidades.

Tabela 3. Teor de nutrientes na parte aérea de leguminosas utilizadas como adubação verdes cultivadas nas estrelinhas de café orgânico, aos 120 e 365 dias após a semeadura.

TRAT	MS	N	P	K	C	MS	N	P	K	C
	t.ha ⁻¹	-----g.kg ⁻¹ -----				t.ha ⁻¹	-----g.kg ⁻¹ -----			
120 DAS						365 DAS				
VE + E	7,61 b	18,17 c	0,67 b	4,00 ab	416,20 b	1,05 b	12,35 c	2,35 ab	4,30 bc	259,42 b
CAL	24,88 ab	25,8 bc	0,28 d	4,40 a	435,20 ab	5,02 b	36,30 a	1,67 b	2,10 c	431,47 a
EST	9,88 b	26,15 ab	0,38 cd	4,50 a	397,85 b	35,14 a	23,17 b	2,10ab	12,20 a	421,00 a
CRO	29,88 ab	29,32 a	0,60 bc	3,90 ab	414,32 b	6,49 b	24,50 b	2,40 ab	10,85 a	436,22 a
FGA	36,09 a	28,15 ab	0,21 d	2,40 b	463,75 a	15,97 ab	30,35ab	2,40 ab	5,95b	488,30 a
PUE	7,00 b	20,70 bc	1,23 a	3,60 ab	414,60 b	12,31 ab	27,42 ab	1,95 ab	10,62 a	405,42 ab
SP	7,26 b	26,82 ab	0,45 bcd	3,30 ab	425,12 ab	6,00 b	30,02 ab	2,62 a	1,97 c	415,32 a
CV (%)	34,16	13,37	22,70	21,74	4,80	57,02	15,05	16,12	19,66	16,06

*VE+E= Vegetação espontânea+esterco, CAL= Calopogônio, EST= Estilosantes, CRO= Crotalária, FGA= Feijão Guandu Anão, PUE= Puerária, SJ= Soja Perene, DAS= Dias após a semeadura. Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey (P<0,05).

Haynes e Mokolobate (2001), e Guppy et al., (2005), a maior disponibilidade de P para as plantas onde se pratica a adubação verde está relacionado a maior e mais diversificada atividade microbiana promovida por tal prática.

Para os teores de K a espécie Estilosantes destacou-se para os dois períodos de cortes avaliados, embora aos 120 DAS apenas tenha diferido significativamente do Feijão Guandu Anão e aos 365 DAS dos demais tratamentos, com exceção da Crotalária e Puerária, (**Tabela 3**).

Em relação aos teores de N no primeiro corte, o tratamento que apresentou maiores teores foi a Crotalária com $29,32 \text{ g.kg}^{-1}$, similares ao encontrado pelas demais leguminosas, com exceção da Puerária. No segundo corte, o Calopogônio apresentou o maior teor de N $36,30 \text{ g.kg}^{-1}$, diferindo dos demais tratamentos.

O teor de N apresentado no tratamento VE+E para o primeiro corte não diferiu significativamente de Puerária. Isto pode estar relacionado ao fato de ter aplicado esterco de galinha, servindo como fonte de adubação nitrogenada para este tratamento, proporcionando à vegetação espontânea acumulação de nitrogênio, promovendo a ciclagem de nutrientes quando comparada as leguminosas.

Houve um aumento nos teores de P aos 365 DAS, em relação aos observados para o primeiro corte, exceto VE+E e Calopogônio. O mesmo foi observado para teor K que apresentou baixo teor no primeiro corte e aumento no teor de K nas leguminosas Estilosantes, Crotalária e Puerária, aos 365 DAS. Para o teor de N, os níveis encontrados para os dois períodos de cortes foram superiores a 20 g.kg^{-1} aos 120 DAS, bem como aos 365 DAS, demonstrando a eficiência em fixar nitrogênio, e promover maior assimilação deste nutriente.

Embora a VE+E tenha produzido menos fitomassa quando comparadas a algumas leguminosas (**Figura 3**), estas acumularam quantidade de N, P e K similar ou até superiores a alguns tratamentos (**Tabela 3**). Resultados semelhantes foram constatados por Perin et al. (2004), onde a vegetação espontânea comparada aos adubos verdes apresentaram similaridade nos teores de N, P e K, entre elas a Crotalária e Feijão Guandu Anão presentes no atual estudo, assim como, Cavalcante et al. (2012) que obtiveram mesmos resultados para estudo realizado no agreste alagoano, em condições semelhantes.

O teor de carbono (C) nos resíduos dos tratamentos apresentaram diferenças significativas, sendo o Feijão Guandu Anão a apresentar maiores valores de C com $463,75 \text{ g.kg}^{-1}$ aos 120 DAS e aos 365 DAS. As leguminosas não apresentaram diferença significativa entre si, no entanto diferiram apenas para o tratamento de VE+E. Vale salientar, que teores de Carbono na parte aérea por si só não representam dados quanto à decomposição do material vegetal, sendo apenas sua relação com o Nitrogênio (C/N) importante para servir de indicativo. Fato Este pode ser justificado para a VE+E aos 365 DAS, em que apresentou menores valores de C comparado aos demais tratamentos, no entanto, a relação C/N foi superior aos demais (**Figura 6**).

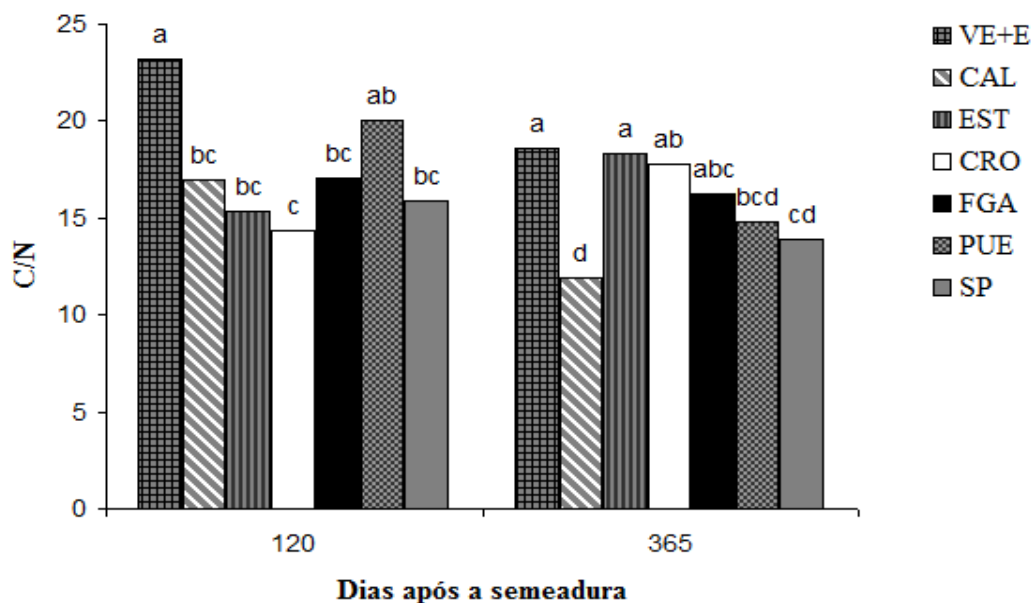


Figura 6. Relação C/N de leguminosas utilizadas como adubação verde cultivadas nas entrelinhas de café orgânico. *Valores seguidos de letras iguais, na mesma data, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$). VE+E= Vegetação espontânea+esterco; CAL= calopogônio; EST= Estilosantes; CRO= Crotalária; FGA=Feijão Guandu Anão; PUE= Puerária e SP= Soja Perene.

As leguminosas apresentam uma estreita relação C/N (**Figura 6**). Segundo Soares (2006), as leguminosas apresentam relação C/N próximo a 20 e decomposição rápida. Os valores baixos de C/N observados para a Crotalária e Calopogônio, nos dois períodos de cortes, podem ser observados na **Figura 6**. Puerária e Estilosantes apresentaram as relações C/N mais altas, respectivamente de 20,08 (120DAS) e 18,36 (365 DAS).

Em termos de acumulação de nutrientes na parte aérea nos diferentes tratamentos aos 120 DAS (**Tabela 4**), a espécie Crotalária acumulou em geral, maiores valores de N, P e K com 640,21; 17,46 e 118,46 kg.ha⁻¹, respectivamente.

O resultado obtido para N, é superior ao encontrado por Ricci et al. (2005), que trabalhando com a espécie Crotalária obteve um acúmulo de 444,21 kg.ha⁻¹. Aos 365 DAS, os acúmulos de N, P e K foram maiores para espécie Estilosantes, com 763,71; 52,94 e 312,84 kg.ha⁻¹, e Soja Perene, respectivamente.

Para os acúmulos de P no atual estudo, os valores variaram entre 3,22 a 17,47 kg.ha⁻¹ aos 120 DAS e de 2,50 a 32,93 kg.ha⁻¹ aos 365 DAS. Em média esses valores foram superiores ao estudo realizado por Teodoro et al. (2011) que obteve 4,36 a 19,33 kg.ha⁻¹ entre adubos verdes como Calopogônio, Puerária, Estilosantes e soja perene. A Crotalária e Estilosantes considerando o primeiro e segundo corte respectivamente, foram as espécies que apresentaram maiores valores de P, discordando de Cavalcante et al. (2012) que avaliaram as mesmas espécies de adubos verdes no agreste alagoano.

Tabela 4. Conteúdo de nutrientes na parte aérea de leguminosas utilizadas como adubação verdes cultivadas nas entrelinhas de café orgânico, aos 120 e 365 dias após a semeadura.

TRAT	N	P	K	C	N	P	K	C
----- kg.ha ⁻¹ -----				----- kg.ha ⁻¹ -----				
120 DAS				365 DAS				
VE + E	190,7 b	10,07 b	28,40 b	4673,1 bc	11,77 c	2,50 e	5,50 e	222,12 c
CAL	574,2 ab	7,60 bc	115,50 a	9508,6 abc	182,32 c	5,77 de	7,80 de	2148,62 c
EST	220,9 b	3,82 bc	47,41 b	3287,4 bc	685,85 a	52,92 a	312,85 a	12866,7 a
CRO	742,7 a	17,47 a	118,47 a	11005,7 ab	172,97 c	20,05 bcd	68,47 cd	3074,32 c
FGA	881,1 a	6,15 bc	86,60 a	14412,2 a	566,5 ab	32,92 b	74,65 bc	8903,82 ab
PUE	124,7 b	8,70 bc	28,55 b	2519,5 c	301,8 bc	21,00 bc	133,77 b	4499,80 bc
SP	158,7 b	3,22 c	28,00 b	2536,8 c	180,57 c	17,64 cd	8,00 de	2496,8 c
CV (%)	51,38	34,54	25,12	50,83	47,84	30,01	31,33	48,54

*VE+E= Vegetação espontânea+ esterco, CAL= Calopogônio, EST= Estilosantes, CRO= Crotalária, FGA= Feijão Guandu Anão, PUE= Puerária, SJ= Soja Perene, DAS= Dias após a semeadura. Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey (P<0,05).

A acumulação de K foi maior para Crotalária 118,47 kg.ha⁻¹ no primeiro corte, e Puerária com 312,85 kg.ha⁻¹ no segundo corte, e o acúmulo de C foi maior para Feijão Guandu Anão aos 120 DAS e Estilosantes 365 DAS. Vale salientar, que a Feijão Guandu Anão e Crotalária foram às espécies leguminosas a apresentar maiores valores de Fitomassa seca para o primeiro e segundo corte, no entanto, não significou maiores acúmulos de nutrientes em sua parte aérea nos respectivos períodos de avaliação.

4. CONCLUSÕES

1. As espécies Feijão Guandu Anão e Crotalária foram às espécies a apresentar maior produção de fitomassa para uso como cobertura do solo.
2. As espécies de adubos verdes que apresentaram maiores acúmulos de nutrientes na parte aérea foram a Crotalária e Estilosantes aos 120 e 365 dias após a semeadura, respectivamente.
3. As espécies Puerária e Soja Perene não se adaptaram bem a região, sendo sua indicação limitada para uso como adubo verde.
4. O Calopogônio e a Soja Perene são as espécies que apresentam maior velocidade de decomposição e liberação dos nutrientes absorvidos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, E. L. **Desenvolvimento de Feijão-de-Porco [Canavalia ensiformis (L.) D.C.] na presença de chumbo**. Dissertação (Mestrado) Instituto Agronômico - IAC (2007).
- CALEGARI, A. et al. **Adubação verde no sul do Brasil**. 2 ed. Rio de Janeiro: ASOJA PERENETA, 1993. 346 p.
- CAVALCANTE, V. S. et al. Biomassa e extração de nutrientes por plantas de cobertura. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.16, p.521–528, 2012.
- DUDA, G.P.; GUERRA, J.G.M.; MONTEIRO, M.T.; DE-POLLI, H.; TEIXEIRA, M.G. Perennial herbaceous legumes as live soil mulches and their effects on C, N and P of the microbial biomass. **Scientia Agricola**, v.60, p.139-147, 2003.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília, Informação Tecnológica, 2009. 628p.
- ESPINDOLA JAA; GUERRA JGM; DE-POLLI H; ALMEIDA DL; ABBOUD ACS. 2005. **Adubação verde com leguminosas**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 49 p.
- FERREIRA, D.F. **Sistema de análises de variância para dados balanceados**. Lavras: UFLA, 2000. (SISVAR 4. 1. pacote computacional).
- FINHOLDT, R. S.; ASSIS, A. M.; BISINOTTO, F. F.; AQUINO JÚNIOR, V. M.; SILVA, L. O. Avaliação da biomassa e cobertura do solo de adubos verdes. **FAZU em Revista Uberaba**, n. 6, p. 11-52, 2009.
- GUPPY, C.N.; MENZIES, N.W.; MOODY, P.W. & BLAMEY, F.P.C. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: A review. **Austr. J. Soil Res.**, 43:189-202, 2005.
- HAYNES, R.J.; MOKOLOBATE, M.S. Amelioration of Al toxicity and P deficiency in acid soils by additions of organic residues: a critical review of the phenomenon and the

- mecanismos envolvidos. **Nutrient Cycling in Agoecosystems**, Dordrecht, v.59, p.47-63, 2001.
- KUO C.T., et al. **GATA4 transcription factor is required for ventral morphogenesis and heart tube formation**. *Genes. & Dev.* 11:1048–1060. 1997.
- PERIN, A.; SANTOS, R.H.S.; URQUIAGA, S.; GUERRA, J.G.M. & CECON, P.R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado ou consorciado. **Pesq. Agrop. Bras.**, 39:35-40, 2004.
- PIRAI, Sementes. Adubação verde e cobertura vegetal. Piracicaba- São Paulo, 2011. Acesso em: 21 de Junho de 2012 <<http://www.pirai.com.br/index.php>>
- QUEIROZ, L. R. et al. Avaliação da produtividade de fitomassa e acúmulo de N, P e K em leguminosas arbóreas no sistema de aleias, em Campos dos Goytacazes, RJ. **Rev. Árvore**, v. 31, 2007.
- RICCI, M. dos S.F. et al. Growth rate and nutritional status of an organic coffee cropping system. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.62, p.138-144. 2005.
- SAMINÉZ, T. C. de O.; VIDAL, M. C.; RESENDE, F. V. Comportamento de espécies de adubos verdes sob sistema orgânico de produção no período de inverno do distrito federal. **Ver. Bras. Agroec.**, v.2, n.1, fev. 2007.
- SOARES, T. G. **Produção de palhada e reciclagem de nutrientes de leguminosas e gramíneas para implantação do sistema de plantio direto na mesorregião do nordeste paraense**. Belém, 2006. 51p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas) – UFRA, 2006.
- TEODORO, Ricardo Borges et al. Aspectos agronômicos de leguminosas para adubação verde no Cerrado do Alto Vale do Jequitinhonha. **Rev. Bras. Ciênc. do Solo**, Viçosa, v. 35, abr. 2011.
- WUTKE, E.B.; TRANI, P.E.; AMBROSANO, E.J.; DRUGOWICH, M.I. **Adubação verde no Estado de São Paulo**. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 2009. 92p. (CATI. Boletim técnico, 249).

CAPÍTULO II

ATRIBUTOS QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DE UM SOLO SOB CULTIVO DE ADUBOS VERDES NO AGRESTE PERNAMBUCANO

RESUMO

A utilização de plantas como adubos verdes possibilita uma melhoria na qualidade do solo por promoverem a fixação biológica de nitrogênio e reciclagem de nutrientes tanto na camada arável como no subsolo, podendo representar economias significativas quanto ao processo de recuperação da fertilidade do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar a fertilidade do solo, as frações de fósforo e as formas de carbonos disponíveis em solos cultivados com diferentes adubos verdes no agreste pernambucano. O experimento foi instalado no Sítio São José do Campo Cumprido no Município de Garanhuns-PE. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com 7 tratamentos: Vegetação espontânea+Esterco de galinha; Calopogônio; Estilosantes; Crotalária; Feijão Guandu Anão; Puerária e Soja perene; e 4 repetições. A coleta do solo foi feita a 10 cm de profundidade em cada parcela aos 120 e 365 dias após a semeadura (DAS). O Estilosantes foi à espécie a apresentar maiores médias gerais das variáveis químicas aos 120 e 365 DAS. O CBMS e CSA de maneira geral foram maiores para espécies Calopogônio, Crotalária, Estilosantes e Feijão Guandu Anão nos dois períodos de cortes. A Crotalária foi à espécie a apresentar maior capacidade para reciclagem de nutrientes (F1+F2) e o Estilosantes as frações mais estáveis de MOS (F3+F4). Não houve diferença entre os tratamentos para Pil e o tratamento que apresentou maiores teores de Pol e Ptl foi a Crotalária. Como conclusão temos que o Estilosantes foi à espécie a apresentar maior incremento na fertilidade do solo nos dois períodos de cortes. O uso de adubos verdes como Calopogônio, Crotalária, Estilosantes e Feijão Guandu Anão promoveram efeito benéfico na microbiota do solo. A Crotalária foi à espécie a apresentar maiores valores nas frações de carbono (F1+F2) em demonstrando a maior capacidade para reciclagem de nutrientes, enquanto o Estilosantes as maiores concentrações (F3+F4), que representa as frações mais estáveis favorecendo a manutenção dos teores de MOS. O Po lábil predominou amplamente sobre a fração inorgânica lábil. Não houve diferença entre os tratamentos para Pil e o tratamento que apresentou maiores teores de Pol e Ptl foi a Crotalária.

Palavras chave: qualidade do solo, fertilidade do solo, frações de carbono, frações de fósforo.

ABSTRACT

The use of plants as green manure enables an improvement in soil quality by promoting the biological nitrogen fixation and nutrient recycling in both topsoil and subsoil, which may represent significant savings on the recovery process of soil fertility. The aim of this study was to evaluate soil fertility, phosphorus fractions and available forms of carbon in soils with different green manures in rural Pernambuco. The experiment was conducted in Sitio Sao Jose do Campo in the City of Fulfilled Garanhuns-PE. The experimental design was randomized blocks with 7 treatments: spontaneous vegetation + chicken manure; Calopogonio; Estilosantes; Crotalária; Guandu Dwarf Beans, Soy and Kudzu perennial, and 4 reps. The collection of soil was done at 10 cm depth in each plot at 120 and 365 days after sowing (DAS). The Estilosantes was kind to present the highest overall averages of chemical variables at 120 and 365 DAS. The CBMS and CSA generally were higher for species Calopogonio, Crotalaria, Estilosantes and Dwarf Beans Guandu cuts in both periods. The Crotalaria was the kind to have higher capacity for nutrient recycling (F1 + F2) and Estilosantes more stable fractions of MOS (F3 + F4). There was no difference between treatments for Pil and treatment showed the highest levels of Pol was Crotalária and Ptl. In conclusion we have to sort the Estilosantes was to present a greater increase in soil fertility in both periods cuts. The use of green manures as Calopogonio, Crotalaria, and Estilosantes Guandu Dwarf Beans promoted a beneficial effect on soil microbes. The Crotalaria species was present at higher carbon values in fractions (F1 + F2) in demonstrating the enhanced ability to recycle nutrients, while higher concentrations Estilosantes (F3 + F4) representing the fractional favoring the more stable maintenance of MOS. O levels of labile Po fraction was largely on labile inorganic fraction. There was no difference between treatments for Pil and treatment showed the highest levels of Pol was Crotalária and Ptl.

Keywords: soil quality, soil fertility, carbon fractions, fractions of phosphorus.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de plantas como adubos verdes nas entrelinhas da lavoura de café, possibilita uma melhor proteção ao solo e melhoria de suas condições, favorecendo o desenvolvimento da cultura principal, (PRIMAVESI, 1990). Ainda, o uso destas plantas tolerantes a baixa fertilidade, ao adicionar fitomassa (LOURENÇO et al. 1993), promover a fixação biológica de nitrogênio e reciclagem de nutrientes tanto na camada arável como no subsolo (AMADO E WILDNER, 1994; POTT et al., 2004), podem representar economias significativas quanto ao processo de recuperação da fertilidade do solo.

Alterações relativamente pequenas nas condições do sistema do solo promovidas pelo uso de adubos verdes podem estar associadas a processos mais complexos de melhoria ou perda na sua qualidade, uma vez que, geralmente afeta a densidade, diversidade e a atividade da população microbiana, sendo assim a análise de atributos microbiológicos, como a biomassa microbiana do solo e seus índices derivados são os principais indicadores quanto ao manejo utilizado e sua influência nos atributos do solo, (ROSCOE et al., 2006; DORAN; PARKIN, 1994).

Sistemas de manejo que adicionam matéria orgânica principalmente via resíduos vegetais, podem incrementar o conteúdo de carbono orgânico no solo, contribuindo para a manutenção da sustentabilidade agrícola do solo e diminuição da emissão CO₂ para a atmosfera. O índice de manejo de carbono (IMC) surgiu como indicador das modificações do conteúdo de matéria orgânica, sendo seu objetivo unir as características quantitativas e qualitativas da MOS, como forma de avaliar o desempenho de um determinado sistema de manejo. O IMC parece ser uma ferramenta útil em indicar os melhores sistemas de manejos de solos e culturas, por integrar numa mesma medida as variações ocorridas nas diferentes frações da MOS (NICOLOSO, 2005; VIEIRA et al., 2007).

Diante o exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a fertilidade do solo, as frações de fósforo e as formas de carbonos disponíveis em solos cultivados com diferentes adubos verdes no Agreste Pernambucano.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Descrição da área de Estudo

O experimento foi instalado em um Argissolo Amarelo, no Sítio São José do Campo Cumprido no Município de Garanhuns-PE, (8°57'28,24" Sul e 36°32'00,44" Oeste) a uma altitude de 750m. A área experimental consistiu de 1,0 hectare de um cafezal com 1 ano de plantio, no espaçamento de 2,5 x 1,0 m, sob sistema de irrigação por microaspersão. Foram coletadas amostras compostas de solo a 10 cm de profundidade em toda a área experimental, para análise química antes da semeadura das leguminosas (**Tabela 1**).

Tabela 1. Resultado da análise química do solo realizada antes da semeadura das leguminosas utilizadas como adubos verdes no município Garanhuns- PE.

pH	P	Al	Ca	Mg	Na	K
(1:2,5)	mg/kg	-----cmol _c dm ⁻³ -----				
6,04	5,98	0,07	1,12	0,87	0,02	0,01

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (**Figura 1**), com 7 tratamentos e quatro repetições, sendo cada tratamento inserido nas entrelinhas do cafeeiro, correspondendo a 4 linhas de semeadura espaçadas em 0,5 m, deixando-se duas para bordadura e distantes da linha de cafeeiro em 0,5m, como pode ser observado na. Os tratamentos foram: Vegetação espontânea + Esterco; Calopogônio (**a**); Estilosantes (**b**); Crotalária (**c**); Feijão Guandu Anão (**d**); Puerária (**e**) e Soja perene (**f**). Para o tratamento Vegetação Espontânea + Esterco, foram adicionados aproximadamente 3 Kg de esterco de galinha em toda parcela constituída pelo tratamento em cada bloco.

Tabela 2. Densidade de semeadura para as espécies de coberturas utilizadas nos experimentos.

ESPÉCIES	NC	Dens. (kg.ha ⁻¹)	HC	Flor.
<i>Calopogonium mucunoides</i>	Calopogônio	10	Perene	100-120
<i>Stylosanthes Multilinea</i>	Estilosantes	6	Perene	90-100
<i>Crotalária Pereneetabilis Roth</i>	Crotalária	15	Anual	90-100
<i>Cajanus cajan</i>	Feijão Guandu Anão	35	Anual	90-120
<i>Puerária phaseoloides</i>	Puerária (Kudzu Tropical)	12	Perene	100-120
<i>Neonotonia wightii</i>	Soja Perene	6	Perene	150

* Fonte: Piraf Sementes. (2012). NC= Nome Comum, DENS.= densidade, HC= Hábito de Crescimento, FLOR= Florescimento.

Cada parcela possuía 6,25 m² (3,0 x 2,08 m), sendo os 4 m² centrais de cada parcela sua área útil. A semeadura das leguminosas foi realizada em sulcos de aproximadamente 1 cm de profundidade, 0,5m entre linhas de leguminosas. As plantas de leguminosas ficaram distantes do café 0,5 m. As densidades de semeadura foram realizadas no dia 19 de abril de 2010.

2.2. Análise química do solo

A coleta do solo foi feita a 10 cm de profundidade e as análises químicas do solo antes e depois do experimento foram feitas pH (em água 1:2,5), P extraível, K trocável, Na trocável, matéria orgânica, Al trocável e Ca + Mg trocáveis) seguiram a metodologia proposta pela Embrapa (2009). Para determinação do teor de Nitrogênio total, a composição das amostras foi determinada via combustão a 925°C em um analisador elementar Perkin Elmer PE-2400 CHNS-O.

Para a quantificação do fósforo orgânico lábil, foram realizadas apenas para o segundo período de corte. A obtenção do P orgânico lábil (Pol) foi realizada segundo

metodologia preconizada por Bowman e Cole (1978), a partir da diferença entre o Ptl e Pil. Com estes valores calculou-se a relação percentual entre o Pol e o Ptl.

Para o fracionamento do C realizado apenas aos 365 DAS, foi utilizada a metodologia por graus de oxidação adaptado de Chan et al. (2001) e Freitas et al. (2004). O fracionamento do C produziu quatro frações, com graus decrescentes de oxidação:

- ✓ Fração 1 (F1): C orgânico oxidado por $K_2Cr_2O_7$ em meio ácido com 3 mol L^{-1} de H_2SO_4 .
- ✓ Fração 2 (F2): diferença do C orgânico oxidado por $K_2Cr_2O_7$ em meio ácido com 6 e 3 mol L^{-1} de H_2SO_4 .
- ✓ Fração 3 (F3): diferença do C orgânico oxidado por $K_2Cr_2O_7$ em meio ácido com 9 e 6 mol L^{-1} de H_2SO_4 .
- ✓ Fração 4 (F4): diferença entre COT e C orgânico oxidado por $K_2Cr_2O_7$ em meio ácido com 9 mol L^{-1} de H_2SO_4 .

O teor de C na fração F1 foi considerado como carbono lábil (CL) do solo, enquanto que o carbono não lábil (CNL) foi obtido por diferença ($CNL = COT - CL$). Os teores de carbono orgânico (COT) do solo foram determinados pela metodologia da combustão úmida com dicromato de potássio, descrita em Yeomans e Bremner (1988) e utilizados no cálculo da relação CL/COT, do Índice de Compartimento de Carbono (ICC). Os demais índices Labilidade (L), Índice de Labilidade (IL) e Índice de Manejo de Carbono (IMC) foram determinados de acordo com Blair et al. (1995).

2.3. Análise microbiológica

Para determinação da biomassa microbiana (C-BMS) as amostras foram submetidas ao processo de irradiação conforme a metodologia descrita por Mendonça e Matos (2005). Na quantificação do C microbiano foi adotada a metodologia descrita por Vance et al. (1987) e Tate et al. (1988). O carbono nos extratos de K_2SO_4 foi determinado por colorimetria (BARTLETT E ROSS, 1988).

O carbono solúvel em água (CSA) foi obtido mediante método descrito por Mendonça e Matos (2005), utilizando-se como extrator água destilada na relação solo:extrator 1:2. O C dos extratos irradiados e não irradiados, bem como o CSA, foram determinados por colorimetria como sugerido por Bartlett e Ross (1988), utilizando-se como agente oxidante o permanganato de potássio em meio ácido. Para a determinação da respiração microbiana do solo (RBS), utilizou-se a metodologia apresentada por Alef e Nannipieri (1995). O intervalo de observação da respiração microbiana foi feita às 48 horas.

Com os resultados obtidos foram calculados o quociente metabólico (qCO_2), representado pela razão (RBS/C-BMS), relação entre o CO_2 acumulado e o total do C-BMS a qual prediz que na medida em que a biomassa microbiana se torna mais eficiente em utilizar os recursos do meio, menos C é perdido como CO_2 pela respiração, podendo este ser incorporado aos tecidos microbianos; o quociente microbiano ($qMIC$), calculado pela relação entre o carbono da biomassa microbiana e o carbono orgânico total do solo, segundo a expressão $qMIC = CBM/COT$, que indica quanto do carbono está imobilizado na forma microbiana.

2.4. Análise Estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias dos dados separados pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. As análises foram realizadas pelo programa computacional Sistema para Análise de Variância - SISVAR (FERREIRA, 2000).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Atributos químicos e Microbiológicos

Para MO, pH, Mg, Ca, Al e H+Al avaliados aos 120 DAS não houve diferença significativo, (**Tabela 3**). Com relação às variáveis P, Na e K^+ , houve diferença significativa entre as médias dos tratamentos ao nível de 5% de probabilidade (**Tabela 3**).

Para análise aos 365 DAS, apenas MO, P e Ca, foram afetados pelos diferentes usos de adubos verdes.

Ao se observar o valor inicial do pH do solo antes da implementação do experimento (6,04), pode-se observar que houve um aumento do pH do solo após a utilização dos adubos verdes para os dois períodos avaliados, sendo o Estilosantes e Vegetação espontânea+Esterco a apresentar pH de 6,66 e 6,68, respectivamente, embora não tenha diferido significativamente dos demais tratamentos aos 120 e 365 DAS. A utilização de espécies de adubos verdes apresentam maiores teores de cátions e ácidos orgânicos de baixo peso molecular na fração Carbono solúvel em água, em que ocasionam em um consumo de H^+ da solução do solo, mediante a protonação dos grupamentos funcionais, refletindo na diminuição da acidez do solo, (FRANCHINI et al., 1999; MIYAZAWA et al., 2000; FRANCHINI et al., 2003). Resultados semelhantes foram obtidos por Faria et al. (2007) e Nascimento et al. (2003), que avaliando leguminosas como adubos verdes, provocaram um aumento do pH com valores em média de 7,0 quando comparados ao pH inicial de 5,8, assim como, Nascimento et al. (2003), em que as leguminosas guandu anão, Calopogônio, Puerária e Crotalária, como presentes no atual estudo, contribuíram para diminuir a acidez do solo, elevando o pH no perfil estudado.

O teor médio de Al^{3+} foi de 0,07 $cmol_c Kg^{-1}$, mantendo-se baixo em todos os tratamentos aos 120 e 365 DAS. Ressalta-se que o teor de Al^+ nos diferentes tratamentos, foi mantido em nível baixo, variando em valores absolutos de 0,04 a 0,12 $cmol_c Kg^{-1}$.

Houve um incremento nos teores de Na^+ após a aplicação dos tratamentos, sendo as leguminosas a apresentar teores levemente superiores ao uso de Vegetação Espontânea+Esterco, embora não tenham apresentado diferenças significativas entre si.

Aos 120 DAS todos os tratamentos apresentaram aumento considerável nos teores de P no solo, expressando resultados que variam de 23,73 $mg.Kg^{-1}$ em Vegetação Espontânea+Esterco à 85,36 $mg. Kg^{-1}$ em Estilosantes. Este aumento no teor de fósforo pode estar relacionado entre outros fatores, ao aumento da taxa de mineralização do Po do solo.

Tabela 3. Características químicas de solos a 10cm de profundidade cultivados com leguminosas, utilizadas como adubação verde cultivadas nas entrelinhas de café orgânico aos 120 e 365 DAS.

	pH	P	Na	K	Mg	Ca	Al	H+ Al	MO	NT
	(1:2,5)	mg. kg ⁻¹	-----cmol _c dm ⁻³ -----					----- g.Kg ⁻¹ -----		
120 DAS										
VE + E	6,07 a	23,73 d	0,25 b	0,25 a	0,87 a	0,90 a	0,10 a	0,99 ab	9,18 a	0,92 a
CAL	6,48 a	25,16 d	0,32 ab	0,18 b	0,55 a	1,17 a	0,04 b	0,83 ab	9,35 a	1,50 a
EST	6,66 a	85,36 a	0,35 ab	0,22 a	0,53 a	1,25 a	0,07 a	0,55 b	9,63 a	1,05 a
CRO	6,54 a	78,15 ab	0,37 a	0,14 b	0,70 a	1,12 a	0,10 a	0,58 b	9,35 a	1,0 a
FGA	6,12 a	47,98 c	0,36 a	0,16 b	0,53 a	1,37 a	0,09 a	1,16 a	9,82 a	0,75 a
PUE	6,50 a	82,68 a	0,31 ab	0,15 b	0,80 a	1,42 a	0,07 a	0,83 ab	9,38 a	0,95 a
SP	6,07 a	60,00 bc	0,32 ab	0,16 b	0,70 a	1,17 a	0,07 a	0,49 b	9,66 a	0,75 a
CV (%)	5,36	16,42	13,89	27,49	42,41	31,26	28,18	29,91	5,64	35,76
365 DAS										
VE + E	6,68 a	11,17 ab	0,26 a	0,31 a	1,50 a	0,70 c	0,07 a	1,48 a	14,34 ab	0,80bc
CAL	6,22 a	16,93 a	0,28 a	0,18 a	1,20 a	1,30 ab	0,11 a	1,43 a	114,14 ab	0,5 c
EST	6,45 a	7,00 ab	0,26 a	0,23 a	0,90 a	1,42 a	0,10 a	1,54 a	15,39 a	1,3 ab
CRO	6,39 a	13,27 ab	0,29 a	0,13 a	1,05 a	1,10 abc	0,12 a	1,32 a	12,91 abc	1,32 ab
FGA	6,39 a	5,93 b	0,29 a	0,22 a	1,10 a	1,10 abc	0,10 a	1,31 a	8,34 c	1,02 abc
PUE	6,26 a	5,97 b	0,29 a	0,18 a	1,15 a	0,82 bc	0,12 a	1,21 a	8,80 c	1,32 ab
SP	6,49 a	8,20 ab	0,23 a	0,29 a	1,25 a	0,85 bc	0,12 a	1,49 a	9,93 bc	1,57 a
CV (%)	4,62	44,60	13,99	47,41	27,86	22,19	25,65	13,61	18,61	21,76

* Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey (P<0,05).

Resultados semelhantes foram obtidos por Duarte (2010), que avaliando o cultivo de adubos verdes no Norte de Minas, concluiu que a maioria dos adubos verdes utilizados contribuiu para o aumento da disponibilidade de P. Enquanto os teores de P aos 365 DAS, os valores não ultrapassaram $16,93 \text{ mg.Kg}^{-1}$. Este decréscimo de P para o segundo corte, pode estar relacionado a um maior tempo de avaliação, em que proporcionou um aumento de fungos micorrízicos arbusculares, que dependem do P no solo para o processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN) (altamente exigente em energia na forma de ATP), (JESUS et al., 2005), o que, possivelmente, pode ter levado ao menor fósforo disponível no solo. Ainda, no processo de reciclagem de nutrientes, pode-se observar que a parte aérea dos tratamentos no segundo corte apresentaram maiores teores de P, quando comparados ao primeiro, evidenciando maior absorção das plantas deste elemento, e consequente diminuição de sua disponibilidade no solo.

Os teores de K^+ aos 120 DAS foram diferentes significativamente nos tratamentos de VE+E e Soja Perene. Aos 365 DAS os teores de K não apresentaram diferença significativas entre todos os tratamentos, embora seus teores tenham sido maiores que no primeiro corte.

Os teores de Ca^{2+} mostraram-se estáveis nas avaliações enquanto que Mg^{2+} mostrou um aumento em todos os tratamentos aos 365 DAS. Fávero et al. (2001) Estudando o comportamentos de adubo verdes e espécies espontâneas comprovaram que quando as leguminosas foram deixadas junto com a vegetação espontânea houve maior acúmulo de biomassa e maiores conteúdos de Ca do que apenas a vegetação espontânea. No trabalho desenvolvido por Moreti et al. (2007) ao verificarem os atributos químicos de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo (convencional e SPD), adubações orgânica (esterco de galinha) e mineral (formula 8-28-16 de NPK) e plantas de cobertura (Crotalária e milho), os autores observaram teores de Ca^{2+} com média em torno de $25,25 \text{ cmol}_c \text{ Kg}^{-1}$ no tratamento com Crotalária, valores esses que representam dezoito vezes a mais do que os encontrados nesse estudo. Isso pode ter ocorrido devido a vários fatores, entre eles o tipo de solo e condições edafoclimáticas das regiões em estudo.

Em trabalho realizado por Ricci et al. (2005), avaliando a influência da Crotalária nas características químicas do solo cultivado com café, os autores observaram que não houve alteração nos teores de Al^+ , P, K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} no tratamento com Crotalária, fato este que não condiz com o observado no presente trabalho, onde o tratamento com Crotalária promoveu o incremento desses nutrientes no solo.

Com relação à acidez potencial do solo observou-se que os valores mantiveram quase que inalterados dentro das duas épocas de avaliação, resultado esperado quando relacionados aos valores de pH em que apresentaram proximidade para os diferentes tratamentos.

Os teores de N total (NT) do solo aos 120 DAS, não apresentaram diferença significativa entre si, sendo apenas observados efeitos das leguminosas ao solo para este nutriente 365 DAS. A leguminosa a proporcionar maior teor de NT no solo foi a espécie Soja Perene com $1,57 \text{ g.Kg}^{-1}$, no entanto, só diferiu entre as leguminosas para o tratamento com Calopogônio.

Evidenciando a eficiência para maioria das leguminosas quanto ao incremento de NT no solo. Resultados semelhantes ao primeiro corte foi observado por Coelho et al. (2009), que avaliando leguminosas como Estilosantes e Calopogônio, com vegetação espontânea no município de Araponga - MG, não observaram diferenças significativas entre eles, ainda, para os valores encontrados pelos mesmos autores, o NT do solo foi inferior ($0,5$ a $0,8 \text{ g.Kg}^{-1}$) ao encontrado no atual estudo, bem como os encontrados por Duarte (2010), com valores médios entre $0,34$ e $0,46 \text{ g.kg}^{-1}$. Vale ressaltar, que aumentos nos teores de NT para o segundo corte pode estar relacionado ao período maior de avaliação que proporcionou maior decomposição dos resíduos vegetais e disponibilização de NT em formas significativas.

A espécie Puerária foi a que apresentou maiores valores de Carbono Orgânico total com $57,65 \text{ dag kg}^{-1}$ no primeiro período de corte. No entanto, para o segundo corte a vegetação espontânea + esterco foi a espécie a apresentar maiores valores de COT com $20,79 \text{ dag kg}^{-1}$. Para o carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) a espécie Estilosantes apresentou o maior valor com $500,74 \text{ } \mu\text{g.g}^{-1}$ no primeiro corte e Soja Perene,

Estilosantes, Calopogônio e Vegetação Espontânea+Esterco com 368,69 $\mu\text{g.g}^{-1}$, 364,98, 338,95 e 293,94 $\mu\text{g.g}^{-1}$ respectivamente, para o segundo corte, (**Tabela 4**).

Tabela 4. Indicadores biológicos de solos cultivados com diferentes leguminosas utilizadas como adubos verdes cultivadas nas entrelinhas de café orgânico.

TRAT	RBS ¹	COT ²	C-BMS ³	CSA ⁴				
					RBS ¹	COT ²	C-BMS ³	CSA ⁴
120 DAS					365 DAS			
VE + E	1,40 a	55,24 c	136,36 c	46,08 c	2,20 a	20,79 a	293,94 ab	53,95 b
CAL	1,40 a	53,23 g	263,36 b	84,80 a	2,20 a	18,56 c	338,95 ab	76,64 a
EST	1,50 a	56,58 b	500,74 a	50,86 bc	2,25 a	19,78 b	364,98 a	49,45 b
CRO	1,50 a	54,57 e	301,16 b	68,86 abc	1,80 a	17,43 e	286,19 abc	58,17 b
FGA	1,40 a	54,77 d	263,37 b	71,81 ab	2,20 a	13,30 g	242,42 bc	74,58 a
PUE	1,50 a	57,65 a	140,29 c	63,37 abc	3,00 a	17,85 d	180,47 c	51,14 b
SP	1,40 a	53,23 f	116,41 c	76,03 a	2,20 a	13,30 f	368,69 a	88,55 a
CV (%)	21,60	0,0	15,19	15,91	21,48	0,0	16,16	10,20

*VE+E= Vegetação espontânea+esterco, CAL= Calopogônio, EST= Estilosantes, CROT= Crotalária, FGA= Feijão Guandu Anão, PUE= Puerária, SJ= Soja Perene, DAS= Dias após a semeadura. ¹Respiração basal ($\text{mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ solo hora}^{-1}$); ²Carbono da biomassa microbiana ($\mu\text{g de C-CBM g}^{-1} \text{ solo seco}$); ³Carbono orgânico total do solo (dag kg^{-1}). ⁴Carbono Solúvel em água ($\text{mg de C Kg}^{-1} \text{ solo seco}$). Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

Sendo o C associado à biomassa microbiana, o componente mais ativo da fração lábil, e responsável pela transformação e transferência de energia e nutrientes para os demais componentes do ecossistema, (DE-POLLI E GUERRA, 1999; HAYNES et al., 2000), estas espécies com maiores teores de C-BMS, podem, associadas a outros atributos indicar a qualidade no uso de tais espécies na melhoria da fertilidade do solo. Este resultado, discorda dos encontrados por Costa et al. (2008) e Portilho et al. (2010), em que entre as leguminosas avaliadas a Crotalária foi a que apresentou maiores teores de C-BMS quando comparada aos demais adubos verdes.

Para os valores de RBS não houve diferença significativa entre as espécies de adubos verdes e VE+E, embora que para o segundo corte, os valores de RBS foram maiores

quando comparados ao primeiro. Mesmo comportamento foi observado por Carneiro et al. (2008), em que avaliando diferentes adubos verdes e Vegetação Espontânea+Esterco, estes não apresentaram diferença significativas entre si. A respiração basal do solo é um forte indicativo da atividade de microrganismos e revela rapidamente as alterações nas condições ambientais que afetam a atividade microbiana, neste sentido a RBS não serviu como parâmetro significativo para avaliar as alterações promovidas pelo uso dos diferentes adubos verdes.

Para o CSA analisado a espécie Calopogônio obteve o valor de $84,4\text{mg.kg}^{-1}$ aos 120 DAS e a soja Perene $88,55\text{mg.kg}^{-1}$ aos 365 DAS, provavelmente ao fato dessas plantas permanecerem constantemente em contato com o solo e desta forma mantendo seus resíduos em superfície.

Na **figura 1**, estão os resultados de coeficiente metabólico em que Soja perene, Vegetação Espontânea+Esterco e Puerária, foram às espécies em que apresentaram maiores coeficientes para o primeiro corte, sendo a Puerária a apresentar maiores coeficientes para o segundo corte.

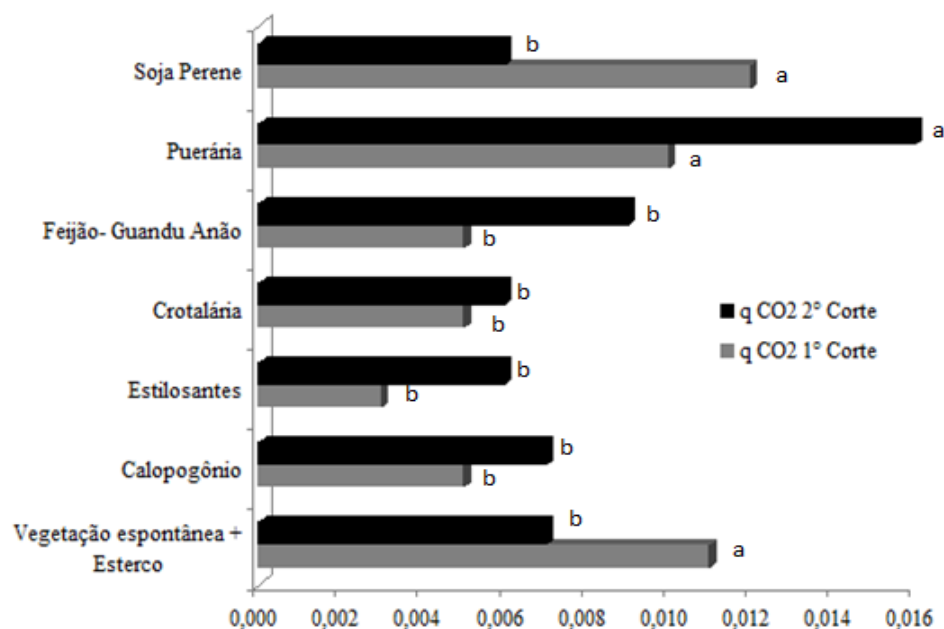


Figura 1. Coeficientes metabólicos em diferentes leguminosas utilizadas como adubos verdes cultivadas nas entrelinhas de café orgânico. * q_{CO_2} $\text{mg C-CO}_2 \text{ mg}^{-1} \text{ C-CBM dia}^{-1}$

Estes resultados demonstram menor proporção de C incorporados aos tecidos microbianos, uma vez que, a biomassa microbiana foi menos eficiente na utilização de recursos do ecossistema, associados a um maior CO₂ perdido pela respiração, (SILVA et al, 2007).

Conforme Tótola e Chaer (2002) o baixo qCO₂ reflete um ambiente mais estável e mais próximo do seu equilíbrio, devido a economia na utilização de energia, enquanto que valores maiores de qCO₂ indicam que a população microbiana está consumindo mais carbono oxidável para sua manutenção.

Para os teores de coeficiente microbiano (qMIC) **Figura 2**, os maiores valores obtidos foi para o Estilosantes aos 120 DAS e Soja Perene aos 365 DAS. Elevados valores de qMIC indicam uma maior eficiência na mineralização do carbono adicionado.

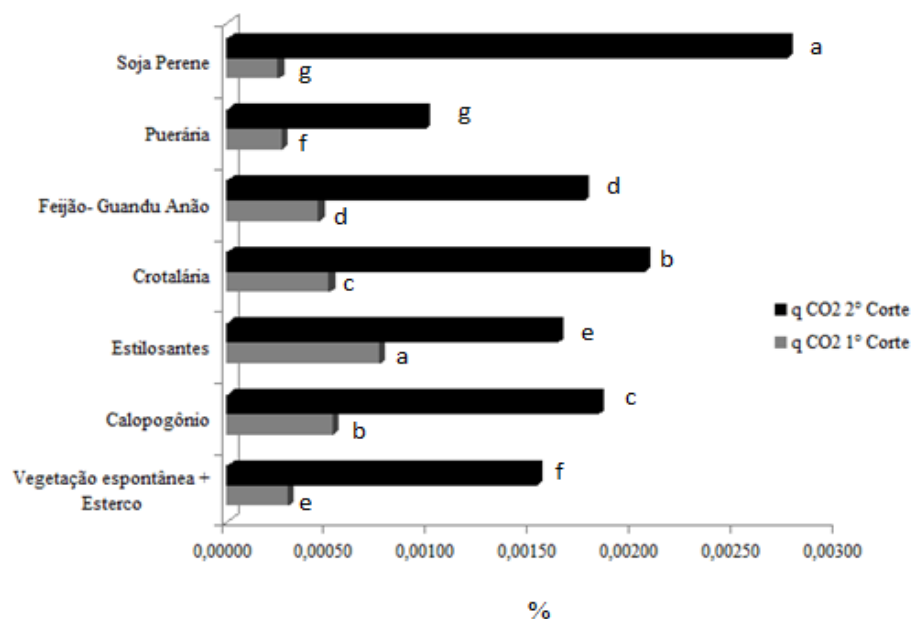


Figura 2. Coeficiente microbiano em diferentes leguminosas utilizadas como adubos verdes cultivadas nas entrelinhas de café orgânico. * μg^{-1} C-CBM dia^{-1} μg^{-1} COT.

Maiores valores da qMIC observados para estas espécies estar ligado à qualidade do material depositado ao solo que indica que o conteúdo de carbono está se mantendo estável ou variando de acordo com as condições impostas ao sistema, como à alocação de fontes de

carbono prontamente disponíveis provenientes dos exsudados radiculares, ou adaptação dos microrganismos às condições químicas impostas (DILLY, 2001; TÓTOLA E CHAER, 2002).

3.2. Frações de Carbono Oxidáveis

Comparando-se os diferentes adubos verdes, percebe-se que os maiores teores de C na F1, foi encontrado para o Estilosantes, embora não tenha diferido significativamente para os demais tratamentos (**Tabela 7**). Teores de carbono na fração F1 indicam aporte de matéria orgânica via resíduos vegetais, sendo principalmente relacionados à fração leve livre da MOS, (BLAIR et al., 1995; CHAN et al., 2001; RANGEL et al., 2008; MAIA et al., 2007), desta forma o presente trabalho não demonstrou adição de resíduos significativamente superiores por parte das leguminosas, quando comparada ao uso de vegetação espontânea.

Tabela 7. Frações de carbono orgânico oxidável (F1, F2, F3 e F4) em solos cultivados com adubos verdes cultivadas nas entrelinhas de café orgânico.

	F1	F2	F3	F4	F1 + F2	F3 + F4
	----- dag kg ⁻¹ -----					
VE + E	0,28 a	0,16 a	0,21 ab	1,49 ab	0,44	1,70
CAL	0,29 a	0,14 ab	0,14b c	1,57 ab	0,43	1,71
CRO	0,29 a	0,16 a	0,19 abc	1,25 abc	0,45	1,44
EST	0,32 a	0,07 cd	0,18 bc	1,71 a	0,39	1,89
FGA	0,28 a	0,09 bcd	0,08 c	0,58 c	0,37	0,66
PUE	0,30 a	0,05 d	0,30 a	0,67 c	0,35	0,97
SP	0,30 a	0,12 abc	0,19 abc	0,81 bc	0,42	1,00
CV (%)	19,02	24,57	28,78	28,73	-	-

*VE+E= Vegetação espontânea + esterco, CAL= Calopogônio, EST= Estilosantes, CRO= Crotalária, FGA= Feijão Guandu Anão, PUE= Puerária, SJ= Soja Perene, DAS= Dias após a semeadura. F1= 3 mol L⁻¹ H₂SO₄; F2= 6 mol L⁻¹ H₂SO₄ - 3 mol L⁻¹ H₂SO₄; F3= 9 mol L⁻¹ H₂SO₄ - 6 mol L⁻¹ H₂SO₄ e F4= COT - 9 mol L⁻¹ H₂SO₄. Médias seguidas de mesma letra e dentro de cada profundidade, entre os diferentes usos, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

De acordo com Pessoa et al. (2011), as Frações F1 e F2 apresentam maior labilidade no solo, e suas principais funções são a disponibilidade de nutrientes e estruturação do solo, enquanto que as frações F3 e F4, são responsáveis pela proteção física e química do solo,

sendo assim, no presente trabalho os conteúdos de C nas duas frações combinadas (F1+F2) demonstraram que a Crotalária foi à espécie em que apresentou maior capacidade para reciclagem de nutrientes, bem como maior agregação entre as partículas do solo correspondendo a 22,72 % do carbono orgânico total, enquanto que para combinação (F3+F4), o Estilosantes foi a espécie em apresentou maiores concentrações, que podem estar sendo beneficiada pela maior manutenção de cobertura do solo, criando um ambiente favorável para a manutenção dos teores de MOS, com frações mais estáveis. Maior acúmulo destas frações, podem ser evidenciadas pelo acúmulo nesse local de compostos orgânicos de maior estabilidade química e alto peso molecular, oriundos da decomposição e humificação da MOS (STEVENSON, 1994), que deve ser preservado para minimizar os impactos negativos ocasionados pelas mudanças climáticas, e consequentes perdas, tanto a curto como em longo prazo.

Os índices de carbono orgânico foram influenciadas pelos tipos de adubos verdes utilizados, (**Tabela 8**).

Tabela 8. CL, CNL, ICC, L, IL e IMC em solos cultivados com diferentes adubos verdes cultivadas nas estrelinhas de café orgânico.

	CL	CNL	ICC	L	IL	IMC
	----- dag kg ⁻¹ -----				----- % -----	
VE + E	0,28 a	1,63 a	1,00 ab	0,16 c	1,00 a	100,00 a
CAL	0,31 a	1,55 a	0,78 bc	0,26 ab	1,45 a	111,65 a
CRO	0,31 a	1,43 a	0,97 ab	0,19 ab	1,37 a	100,67 a
EST	0,34 a	1,64 a	1,16 a	0,19 ab	1,64 a	115,79 a
FGA	0,30 a	1,02 a	0,63 c	0,28 a	1,66 a	100,03 a
PUE	0,27 a	1,29 a	0,66 c	0,20 ab	1,71 a	105,89 a
SP	0,32 a	1,01 a	0,75 bc	0,27 a	1,51 a	113,46 a
CV (%)	13,12	37,34	13,88	14,59	24,42	13,08

*VE+E= Vegetação espontânea+ esterco, CAL= Calopogônio, EST= Estilosantes, CRO= Crotalária, FGA= Feijão Guandu Anão, PUE= Puerária, SJ= Soja Perene. C_L- carbono lábil; C_{NL}- carbono não lábil; ICC- índice de compartimento de carbono; L- labilidade; IL- índice de labilidade; IMC- índice de manejo do carbono. Médias seguidas de mesma letra na coluna, entre os diferentes adubos verdes, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

O maior conteúdo de Carbono lábil do solo foi encontrado para o Estilosantes com $0,34 \text{ dag.kg}^{-1}$, correspondendo a 19,5 % do carbono orgânico total, embora que entre os adubos verdes, nesta fração a soja perene tenha extraído 22%. Para os teores de Carbono Não Lábil, ainda o Estilosantes foi à espécie a apresentar maiores teores.

Observando os valores de ICC, apenas o estilosantes apresentou teores superiores ao de vegetação espontânea + esterco, enquanto que as demais leguminosas apresentaram valores inferiores a 80 dag.kg^{-1} , com exceção da Crotalária que se aproximou ao ICC de referência com $0,97 \text{ dag.kg}^{-1}$.

O índice de manejo de carbono (IMC) é um indicativo da qualidade do manejo do solo, que permite avaliar a sua perda ou ganho a partir de um valor de referência correspondente a 100, desta forma, valores superiores a este, indicam eficiência do manejo no solo, valores inferiores sugerem perturbações provocados ao sistema. As espécies Crotalária, Estilosantes, Puerária e Soja perene, denotam que tais espécies promovem maior aporte de resíduos vegetais, contribuindo para aumentar a capacidade de preservação e recuperação dos teores e/ou da qualidade das frações orgânicas presentes neste solo.

No entanto, Calopogônio e Puerária, apresentam indicativos negativos das praticas de manejo sobre a matéria orgânica e a qualidade do solo, (BLAIR et al. 1995; DE BONA, 2005).

3.3. Fósforo Orgânico lábil

A análise de variância mostrou que houve diferença significativa entre as médias dos tratamentos, ao nível de 5% de probabilidade, para os teores de Po, Pi e Pt (**Figura 3**).

Os teores de fósforo inorgânico lábil (Pil) variaram de 4,21 a $1,23 \text{ mg Kg}^{-1}$, sendo o maior valor observado no tratamento com Crotalária. Mesmo apresentando o maior teor de Pil, o tratamento com Crotalária não apresentou diferença significativa quando comparado com todos os outros tratamentos. Os tratamentos que apresentaram os menores teores de Pil foram os com feijão guandu anão e soja perene, apresentando médias de 1,71 e $1,23 \text{ mg Kg}^{-1}$.

¹, respectivamente, porém os mesmos não diferiram estatisticamente dos tratamentos com Puerária e Estilosantes.

Ao se observar os teores de fósforo orgânico lábil (Pol) pode-se constatar que o tratamento com Crotalária, obteve o maior valor, com $15,32 \text{ mg Kg}^{-1}$, porém esse tratamento não diferiu estatisticamente do tratamento com Puerária, apresentando o mesmo uma média de $14,84 \text{ mg Kg}^{-1}$. O tratamento com soja perene foi o que obteve os menores teores de Pol, diferindo estatisticamente quando comparado com os demais tratamentos, apresentando um teor médio de $2,89 \text{ mg Kg}^{-1}$.

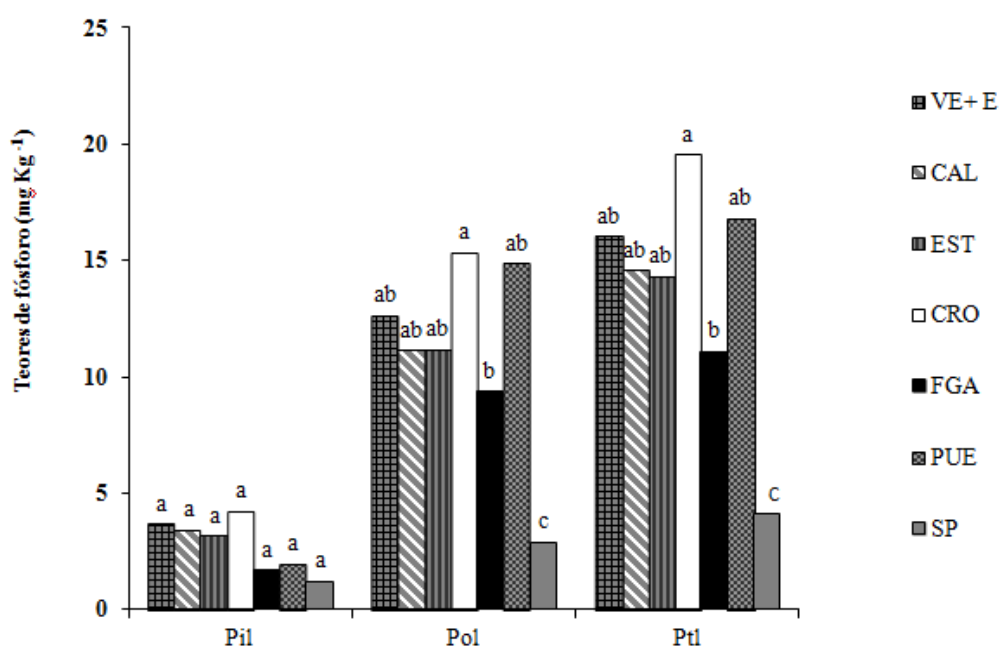


Figura 3 – Teores de fósforo inorgânico lábil, fósforo orgânico lábil e fósforo total lábil de um solo com diferentes espécies de leguminosas cultivadas nas entrelinhas de café. *Médias seguidas de letra iguais, nas mesmas frações de fósforo, não diferem entre si pelo teste Tukey ($P < 0,05$). *VE+E= Vegetação espontânea+ esterco, CAL= Calopogônio, EST= Estilosantes, CRO= Crotalária, FGA= Feijão Guandu Anão, PUE= Puerária, SJ= Soja Perene.

Para o Ptl o maior valor foi para Crotalária, mas a mesma não diferiu significativamente da Vegetação espontânea+Esterco, Calopogônio, Estilosantes e Puerária. O tratamento com Soja Perene ainda apresentou os menores teores de Ptl quando comparado com os demais tratamentos, com uma média de $4,12 \text{ mg Kg}^{-1}$.

O fósforo orgânico lábil (Pol) predominou na composição do fósforo total lábil (Ptl)

nos solos sob todas as coberturas vegetais. O Pol representou de 95,93 a 70,15 % do fósforo total extraído, sendo essa porcentagem observada no tratamento com Puerária, quando comparado com os demais tratamentos. Zaia et al. (2008), avaliando diferentes formas de P no solo submetido aos usos com leguminosas florestais, capoeira e pastagem encontraram média de 67% do P total lábil composto pelo Pol. O fósforo orgânico pode corresponder à maior parte do teor de P disponível no solo, podendo variar de 3 a 90% do teor do P total, ou de 1 a 3% da matéria orgânica do solo (CUNHA et al., 2007). Além disso, o fósforo orgânico tem um efeito benéfico indireto devido ao fato de aumentar a disponibilidade do P mineral no solo, logo que o mesmo é adsorvido preferencialmente em relação ao P inorgânico (ZAIA et al., 2008). Segundo Randhawa et al. (2005), o uso de adubos verdes, melhora a disponibilidade de P para as plantas por incrementar a taxa de mineralização de Po no solo, como foi observado em valores encontrados para Po num período de 21 dias, de 0,06 e 0,27 mg. Kg⁻¹ dia⁻¹ de P para solos em e com aplicação de adubos verdes, respectivamente.

4. CONCLUSÕES

1. O Estilosantes foi à espécie a apresentar maior incremento na fertilidade do solo nos dois períodos de cortes.
2. O uso de adubos verdes como Calopogônio, Crotalária, Estilosantes e Feijão Guandu Anão promoveram efeito benéfico na microbiota do solo.
3. A Crotalária foi à espécie a apresentar maiores valores nas frações de carbono (F1+F2) em demonstrando a maior capacidade para reciclagem de nutrientes, enquanto o Estilosantes as maiores concentrações (F3+F4), que representa as frações mais estáveis favorecendo a manutenção dos teores de MOS.
4. O Po lábil predominou amplamente sobre a fração inorgânica lábil. Não houve diferença entre os tratamentos para Pil e o tratamento que apresentou maiores teores de Pol e Ptl foi a CROTALÁRIA.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEF, K. & NANNIPIERI, P. Protease activities. In: ALEF, K. & NANNIPIERI, P., eds. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. New York, Academic Press, 1995. p.313-315.
- AMADO, T. J. C.; WILDNER, L. P. Adubação verde. In: Santa Catarina. Secretaria do Estado da Agricultura e Abastecimento. Manual de uso, manejo e conservação do solo e água. 2 ed. **Florianópolis, Empresa de Pesquisa Agropecuária e Difusão de Tecnologia de Santa Catarina**, 1994. p.189-202.
- BARTLETT, R. J.; ROSS, D. S. Colorimetric determination of oxidizable carbon in acid soil solutions. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.52, p. 191-1192, 1988.
- BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research** v. 46, p. 1459-1466, 1995.
- BOWMAN, R. A.; COLE, C. V. Transformations of organic phoSoja Perenehorus substrates in soils as evaluated by NaHCO₃ extraction. **Soil Science**, 25:49-54, 1978.
- CARNEIRO, M. A .C . ED. **Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de cerrado**. *Bragantia* 67: 455-462, 2008.
- CHAN, K. Y.; BOWMAN, A.; OATES, A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic paleustalf under different pasture ley. **Soil Science**. 166: 61-67, 2001.
- COELHO, M. S. **Adubos verde na quantidade e qualidade da Matéria orgânica do solo de cafezais em sistema de cultivo orgânico**. Viçosa- MG, 2009. 52f. Dissertação.
- COSTA, F.S.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A. & MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Rev. Bras. Ciênc. do Solo**, 32:323-332, 2008.

- CUNHA, T. J. F. et al. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte A antrópico da Amazônia(Terra Preta). **Acta Amazônica**. v. 37, n. 1, p. 91-98, 2007.
- DE BONA, F.D. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas irrigados por aspersão sob plantio direto e preparo convencional**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul 2005. 154f. (Dissertação de Mestrado).
- DE-POLLI, H.; GUERRA, J.G.M. C, N e P na biomassa microbiana do solo. In: SANTOS, G.de A.; CAMARGO, F.A.de O. (Eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p.389-412.
- DILLY, O. Metabolic and anabolic responses of arable and forest soils to nutrient addition. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.164, p.29-34, 2001.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. DORAN, J. W. et al. (Ed.). **Defining soil quality for sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-21 (Special Publication, 35).
- DUARTE, R. F. **Avaliação de adubos verdes no Norte de Minas Gerais**. Montes Claros, MG: ICA/UFMG, 2010. 82 f. Dissertação.
- EMBRAPA. **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**. Brasília: Embrapa, 627 p., 2009.
- 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. **Rev. Bras. Ciênc. do Solo**, v.31, n.2, p.299-307, 2007.
- FAVERO, C.; JUCKSCH, I.; COSTA, L. M.; CASALI, V. W. D. Plantas espontâneas e leguminosas introduzidas: adubação verde e interações entre populações. **Revista Ceres**, v. 48, p. 485-499, 2001.
- FERREIRA, D.F. **Sistema de análises de variância para dados balanceados**. Lavras: UFLA, 2000. (SISVAR 4. 1. pacote computacional).

- FRANCHINI, J.C.; HOFFMANN-CAMPO, C.B.; TORRES, E.; MIYAZAWA, M. & PAVAN, M.A. Organic composition of green manures during growth and its effect on cation mobilization in an acid Oxisol. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 34:2045-2058, 2003.
- FRANCHINI, J.C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M. & PAVAN, M.A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Rev. Bras. Ciênc. do Solo**, 23:533-542, 1999.
- FREITAS, A. G.; MATOS, E. S.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica e Estabilidade de agregados em diferentes sistemas de adubação. In: FERTBIO, 2004, Lages. **Anais...** Lages: UDESC/SBCS, 2004. CD-ROM.
- HAYNES, R.J. 2000. Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zeland. **Soil Biology and Biochemistry**, 32: 211-219.
- JESUS, E. C.; SCHIAVO, J. A.; FARIA, S. M. Dependência de micorrizas para a nodulação de leguminosas arbóreas tropicais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 545-552. jul./ago. 2005.
- LOURENÇO, A. J. MATSUI, E.; DELISTOIANO, J.; BOIN, C.; BORTOLETTO, O. Efeito de leguminosas tropicais na matéria orgânica do solo e na produtividade do sorgo. **Rev. Bras. Ciênc. do Solo**, Campinas, v.17, p.263-268, 1993.
- MAIA, S. M. F. XAVIER, F. A. S.; SENNA, O. T.; MENDONÇA. E. S.; ARAUJO, J. A. Organic carbon pools in a Luvisol under agroforestry and conventional farming systems in the semi-arid region of Ceará, Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 71, p. 127-138, 2007.
- MATOS, E. S.; SÁ MENDONÇA, E. VILLANI, E. M. A; LEITE, L. F. C; GALVÃO, J. C. C. Formas de fósforo no solo em sistemas de Milho exclusivo e consorciado com feijão sob adubação orgânica e mineral. **Rev. Bras. Ciênc. do Solo**, 30:625-632, 2006.
- MENDONÇA, E.S. & MATOS, E.S. **Matéria orgânica do solo; métodos de análises**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2005. 107 p.

- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. & FRANCHINI, J.C. **Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais**. *Inf. Agron.*, 92:1-8, 2000.
- MORETE, D. et al. Atributos químicos de um latossolo vermelho sob Diferentes sistemas de preparo, adubações e Plantas de cobertura. **Rev. Bras. Ciênc. do Solo**, 31:167-175, 2007.
- NASCIMENTO, J.T.; SILVA, I.F.; SANTIAGO, R.D. & SILVA NETO, L.F. Efeito de leguminosas nas características químicas e matéria orgânica de um solo degradado. **Rev. Bras. Eng. Agric. Amb.**, 7:457-462, 2003.
- NICOLOSO, R.S. 2005. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 150 p. 2005.
- PESSOA, P. M de A. et al. **Biomassa microbiana, frações de carbono e fósforo orgânico de um latossolo húmico sob diferentes usos**. Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo UFRPE, Dissertação, 87f. 2011.
- PORTILHO, I. I. R. Atributos microbiológicos de qualidade do solo em diferentes cultivos de adubos verdes. In: **Seminário de Agroecologia de Mato Grosso do Sul**. 2010.
- POTT, C. A. MÜLLER, M. M. L.; BOTELHO, R. V.; FOLONI, J. S. S. Adubação verde em sistemas produtivos agrícolas: ciclagem de nitrogênio, fósforo e potássio. In: BOTELHO, R.V. **Tecnologia na Agropecuária Brasileira: Atualizando Conceitos**. Guarapuava-PR: Unicentro, 2004, v.1, p.155-167.
- PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo**. 9 ed., São Paulo: Nobel, 1990.
- RANDHAWA, P.S., L.M. CONDRON, H.J. Di, S. SINAJ and R.D. MCLENAGHEN, 2005. Effect of green manure addition on soil organic phosphorous mineralization. **Nutr. Cycl. Agroecosyst.**, 73: 181-189. 2005.
- RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; GUIMARÃES, P. T. G.; GUILHERME, L. R. G. Frações oxidáveis do carbono orgânico de Latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio, **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, p. 429-437.2008.

- RICCI, M. dos S.F.; ALVES, B.J.R.; MIRANDA, S.C. de; OLIVEIRA, F.F. de. Growth rate and nutritional status of an organic coffee cropping system. **Scientia Agricola**, Piracicaba, SOJA PERENE, v. 62, p. 138-144, 2005.
- ROSCOE, R. et al. Biomassa microbiana do solo: fração mais ativa da matéria orgânica. In: ROSCOE, R. et al. (Ed.). **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas**: modelagem matemática e métodos auxiliares. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. p. 163-198.
- SILVA, D. M. E. **Influência dos sistemas de exploração agrícola convencional e orgânico em cana-de-açúcar**. Fortaleza: UFC, 2007. 72p. Tese Doutorado.
- STEVENSON, F.J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. New York: J. Wiley, 1994. 496p.
- TATE, K. R.; ROSS, D. J.; FELTHAM, C. W. A direct extraction method to estimate microbial C: effects of experimental variables and some different Calibration procedures. **Soil Biol. & Biochemistry**, Oxford, v.20, p.329-335, 1988.
- TÓTOLA, M.R. & CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: ALVAREZ V.,V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V. & COSTA, L.M., eds. Tópicos em ciência do solo.Viçosa, MG, **Rev. Bras. Ciênc. do Solo**, v.2. p.195-276, 2002.
- VANCE, E. D.; BROOKS, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biol. & Biochemistry**, v.19, p.703-707, 1987.
- VIEIRA, F.C.B.; Bayer, C.; Zanatta, J.A.; Dieckow, J.; Mielniczuk, J.; HE, Z.L. 2007 Carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in an Acrisol under long- term no-till cropping systems. **Soil & Tillage Research**, 96: 195-204.
- YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 19:1467-1476, 1988.

ZAIA, F. C.; GAMA-RODRIGUES, A. C. A.; GAMA-RODRIGUES, E. F. Formas de fósforo no solo sob leguminosas florestais, floresta secundária e pastagem no Norte Fluminense. **Rev. Bras. Ciênc. do Solo**, 32:1191-1197,2008.

CAPÍTULO III

ÁCIDOS ORGÂNICOS DE BAIXO PESO MOLECULAR EM SOLOS SOB CULTIVO DE DIFERENTES ADUBOS VERDES NO AGRESTE PERNAMBUCANO

RESUMO

Os ácidos orgânicos (AO) de baixo peso molecular são decorrentes da decomposição de resíduos vegetais, e o tipo e quantidade de ácidos produzidos durante o processo dependem entre outros, da quantidade e qualidade do resíduo vegetal. O objetivo deste trabalho foi abordar a ocorrência e distribuição de ácidos orgânicos de baixo peso molecular em solos cultivados com diferentes adubos verdes cultivados no agreste Pernambucano. O experimento foi instalado no Sítio São José do Campo Cumprido no Município de Garanhuns-PE. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com 7 tratamentos: Vegetação espontânea+Esterco de galinha; Calopogônio; Estilosantes; Crotalaria; Feijão Guandu Anão; Puerária e Soja perene; e 4 repetições. A coleta do solo foi feita a 10 cm de profundidade em cada parcela aos 365 dias após a semeadura que foi realizada em 19 de abril de 2010, posteriormente foram secas, destorroadas e peneiradas para análise dos ácidos orgânicos de baixo peso molecular. A quantificação dos ácidos orgânicos de baixo peso molecular foi desenvolvida empregando a coluna Rtx®-5MS, com 30m x 0,25 mmID (Dionex Corp.) em GC- EM. As temperaturas do injetor e detector foram de 220 °C, a programação de aquecimento do forno foi iniciada em 60 °C por 1 min, para então aumentar à 220 °C à taxa de aquecimento 5 °C min⁻¹ e permanecendo 1 min na temperatura final. Os padrões foram preparadas soluções de trabalho contendo os ácidos, em concentrações de 1000 e 10000 ppm, por diluição em água ultrapura. O ácido propiônico esteve presente em todos os tratamentos avaliados, sendo sua maior concentração observada na presença de Estilosantes. A Soja Perene foi à espécie a apresentar maior distribuição de ácidos orgânicos: Propiônico, Butírico, Acético e Shiquímico. Os ácidos Orgânicos Isobutírico e Shiquímico foram detectados na parte aérea da VE+E e Calopogônio respectivamente.

Palavras Chave: leguminosas, matéria orgânica, ácido propiônico.

ABSTRACT

Organic acids (AO) are low molecular weight resulting from the decomposition of plant residues, and the type and amount of acid produced during the process depend among others, on the quantity and quality of plant residue. The aim of this study was to discuss the occurrence and distribution of organic acids of low molecular weight in soils with different green manures grown in rural Pernambuco. The experiment was conducted in Sitio Sao Jose do Campo in the City of Fulfilled Garanhuns-PE. The experimental design was randomized blocks with 7 treatments: spontaneous vegetation + chicken manure; Calopogonio; Estilosantes; Crotalaria; Guandu Dwarf Beans, Soy and Kudzu perennial, and 4 reps. The collection of soil was done at 10 cm depth in each plot at 365 days after sowing which was held on April 19, 2010, were subsequently dried and sieved to destorroadas analysis of organic acids of low molecular weight. The quantification of organic acids of low molecular weight was developed employing C_{18} Column Rtx-5MS, 30m x 0.25 mmID with (Dionex Corp.). GC-MS. The temperature of the injector and detector were 220 ° C programming oven heating was initiated at 60 ° C for 1 min, and then increase to 220 ° C at a heating rate of 5 ° C min⁻¹ and remained 1 min at the final temperature. The standards were prepared working solutions containing the acids in concentrations of 1000 and 10,000 ppm by dilution in ultrapure water. The propionic acid was present in all treatments, and its largest concentration observed in the presence of Estilosantes. Soy was the Perennial species to provide greater distribution of organic acids: propionic, butyric, acetic and shikimic. Organic acids and shikimic isobutyric were detected in shoots of VE + E and Calopogonio respectively.

Keywords: legumes, organic matter, propionic acid.

1. INTRODUÇÃO

Os ácidos orgânicos (AO) de baixo peso molecular são decorrentes da decomposição de resíduos vegetais sendo o tipo e quantidade de ácidos produzidos dependentes da quantidade e qualidade do resíduo vegetal, da característica fermentativa da microbiota e das condições predominantes do solo (FRANCHINI et al., 2001; CAMARGO et al., 1993). Os AO são provenientes do metabolismo de compostos de alto peso molecular, como carboidratos, lipídeos e peptídeos, desta forma presentes na maioria dos solos cultivados.

A determinação de AO é importante uma vez que estes atuam de forma direta e indireta em atributos químicos e microbiológicos do solo, na solubilidade de elementos como Fósforo (P), Potássio (K) e Zinco (Zn) através de processos de quelação e trocas de ligantes, assim como estímulo na atividade microbiana (FOX; COMERFORD, 1990). Ainda de acordo com Li et al. (1997) quando as plantas crescem em ambientes com deficiência de nutrientes, as raízes secretam substâncias funcionais, como ácidos orgânicos, representando um mecanismo adaptativo importante para absorção de elementos como o P.

De acordo com Jones (1998), a concentração de AO presentes no solo como: cítrico, málico, oxálico, butírico, acético, láctico, entre outros... dependem de fatores como a espécie e condições de estresse as quais essas são submetidas.

Segundo Silva et al. (2002), os métodos de separação mais usados são a Cromatografia líquida e gasosa. No entanto, dificuldades são encontradas nos métodos utilizados para identificar e quantificar esses compostos, principalmente no que se refere ao processo de extração, anterior à separação.

As leguminosas utilizadas como adubação verde apresentam relação C/N em torno de 20, indicando uma rápida decomposição de seus resíduos, e conseqüentemente maiores quantidades de ácidos são produzidas quando comparados a materiais vegetais mais resistentes, (TAKAI et al., 1963; HARPER E LYNCH, 1981). Diversos adubos verdes apresentam concentrações significativas de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, (FRANCHINI et al., 1999; CARVALHO, 2003; AMARAL et al., 2004).

Desse modo, o objetivo deste trabalho foi abordar a ocorrência e distribuição de ácidos orgânicos de baixo peso molecular na parte aérea de leguminosas e em solos com estas espécies em consórcio café orgânicas no Agreste Pernambucano.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Descrição da área de Estudo

O experimento foi instalado em um Argissolo Amarelo, no Sítio São José do Campo Cumprido no Município de Garanhuns-PE, (8°57'28,24" Sul e 36°32'00,44" Oeste) a uma altitude de 750m. A área experimental consistiu de 1,0 hectare de plantas de café com 1 ano de plantio, com espaçamento de 2,5 x 1,0 m, sob sistema de irrigação por microaspersão. Foram coletadas amostras de solo para análise química antes da semeadura das leguminosas (**Tabela 1**).

Tabela 1. Resultado da análise química do solo realizada antes da semeadura das leguminosas utilizadas como adubos verdes no município Garanhuns- PE.

pH	P	Al	Ca	Mg	Na	K
(1:2,5)	mg/kg	-----cmol _c dm ⁻³ -----				
6,04	5,98	0,07	1,12	0,87	0,02	0,01

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (**Figura 1**), com 7 tratamentos e quatro repetições, sendo cada tratamento inserido nas entrelinhas do cafeeiro, correspondendo a 4 linhas de semeadura espaçadas em 0,5 m, deixando-se duas para bordadura e distantes da linha de cafeeiro em 0,5m, como pode ser observado na. Os tratamentos foram: Vegetação espontânea + Esterco; Calopogônio; Estilosantes; Crotalária; Feijão Guandu Anão; Puerária e Soja perene. Para o tratamento Vegetação espontânea + Esterco, foram adicionados aproximadamente 3 Kg de esterco de galinha em toda parcela constituída pelo tratamento em cada bloco.

Tabela 2. Densidade de semeadura para as espécies de coberturas utilizadas nos experimentos.

ESPÉCIES	NC	Dens. (kg.ha ⁻¹)	HC	Flor.
<i>Calopogonium mucunoides</i>	Calopogônio	10	Perene	100-120
<i>Stylosanthes Multilinea</i>	Estilosantes	6	Perene	90-100
<i>Crotalaria Pereneetabilis Roth</i>	Crotalaria	15	Anual	90-100
<i>Cajanus cajan</i>	Feijão Guandu Anão	35	Anual	90-120
<i>Puerária phaseoloides</i>	Puerária (Kudzu Tropical)	12	Perene	100-120
<i>Neonotonia wightii</i>	Soja Perene	6	Perene	150

* Fonte: Pirai Sementes. (2012). NC= Nome Comum, DENS.= densidade, HC= Hábito de Crescimento, FLOR= Florescimento.

A semeadura das leguminosas foi realizada em sulcos de aproximadamente 1 cm de profundidade, 0,5m entre linhas de leguminosas e 0,5 cm entre a linha da leguminosa e a linha de café. Cada parcela tinha 6,25 m² (1,5x4,17m) sendo os 4 m² centrais de cada parcela sua área útil. As avaliações do solo e da planta foram feitas aos 365 dias após a semeadura (DAS).

2.2. Extração e quantificação dos ácidos orgânicos

Extração do solo: As amostras de solos foram retiradas a 10 cm de profundidade em um ponto de cada tratamento. Foram pegos 2,5 g de solo e colocados 10 ml de Água Milli-Q (água purificada por destilação e deionizada em sistema Milli-Q da Millipore), sendo agitados em agitador horizontal por 15 min a 200 rpm, posteriormente, foram centrifugados a 1500 rpm por 10 min, em seguida, o sobrenadante foi filtrado em papel quantitativo lento e submetido a análise.

Extração da Planta: Foram pesados 0,5 g de cada amostra da fitomassa seca e moída, sendo posteriormente colocados 25 ml de Água Milli-Q (água purificada por destilação e deionizada em sistema Milli-Q da Millipore) e posteriormente, foram centrifugados a 1500 rpm por 10 min, em seguida, o sobrenadante foi filtrado em papel quantitativo lento e submetido a análise.

A quantificação dos ácidos orgânicos de baixo peso molecular foi desenvolvida empregando a coluna Rtx®-5MS WAX, com 30m x 0,25 mmID (Dionex Corp.) em GC-EM. As configurações foram feitas de acordo com o proposto por Aquino e Santiago-Silva (2006). As temperaturas do injetor e detector foram de 220 °C, a programação de aquecimento do forno foi iniciada em 60 °C por 1 min, para então aumentar à 220 °C à taxa de aquecimento 5 °C min⁻¹ e permanecendo 1 min na temperatura final. O Hélio (He) foi usado como gás de arraste e make-up a vazão de 1 e 29 mL min⁻¹ respectivamente. O detector de ionização em chama foi alimentado por ar (300 mL min⁻¹) e hidrogênio (30 mL min⁻¹). O volume de injeção para soluções padrão e amostras foi de 1 µL. Padrões de alta pureza (>99%) dos ácidos foram obtidos da Sigma Aldrich (St.Louis, USA). A partir desses padrões foram preparadas soluções de trabalho contendo os ácidos, em concentrações de 1000 e 10000 ppm, por diluição em água ultrapura. Os picos correspondentes a cada ácido foram identificados pelo tempo de retenção (**Tabela 3**).

Tabela 3. Tempos de retenção dos diferentes ácidos orgânicos avaliados por Cromatografia gasosa GC-EM.

Padrões	Tempo de Retenção (min)
Propiônico	12,916
Butírico	14,680
Acético	11,703
Shiquímico	15,189
Isobutírico	13,350
Fórmico	13,108
Oxálico	9,610
Lático	13,168
Malônico	11,740
Succínico	12,044
Benzóico	11,706
D-Malic	9,447
Adípico	9,480
Tartárico	17,921
Ascórbico	22,285
Maleico	13,570

As concentrações de cada ácido nos tratamentos foram calculadas por meio de áreas determinadas por curvas de calibração para a respectiva molécula identificada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os cromatogramas (**Figura 1**) mostraram picos de boa resolução para os ácidos orgânicos extraídos do solo: Propiônico, Butírico, Acético e Shiquímico, entre os diferentes tratamentos, sendo avaliados em um tempo geral de 20 min. Foram detectados os tempos de retenção para maioria dos ácidos padrões, no entanto, na **Tabela 4** estão apresentados apenas aqueles presentes na VE+E e adubos verdes. Pode-se observar que para os Cromatogramas das espécies Calopogônio e Crotalária, alguns picos apresentaram boas resoluções, mas não foram identificados como os ácidos orgânicos padrões utilizados para leitura no GC-EM, isso pode ter ocorrido devido às deficiências no método de extração ou a problemas de detecção apresentados pela técnica Cromatográfica utilizada. Vale salientar, que a determinação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular pelo método de Cromatografia gasosa é deficiente, quando comparado a muitos trabalhos encontrados na literatura que utilizam da técnica de HPLC. Então, o método utilizado para abordar e quantificar os ácidos orgânicos necessita de aperfeiçoamento para que os Cromatogramas identifiquem maior número de ácidos orgânicos no solo. Ainda, é importante destacar que a Calibração do equipamento foi uma só, para os ácidos orgânicos de cadeia curta, bem como de cadeia longa, ou seja, os ácidos mais pesados, talvez não tenham sido detectados, pelas configurações principalmente no que se refere a temperatura inicial e rampa de temperatura suficientes para que estes ácidos tenham sido identificados. Fato este é evidenciado por Bazimarakenga et al. (1998), no qual observaram que nos estudos com ácidos orgânicos o maior problema relatado é a dificuldade de encontrar um método eficiente para identificar e quantificar esses compostos.

Os resultados obtidos evidenciaram para todos os tratamentos a presença do ácido propiônico (**Tabela 4**). Maiores concentrações deste ácido foi observado no tratamento de Estilosantes, com $45,93 \text{ mg.kg}^{-1}$. Em diversos trabalhos realizados (Hees et al., 1999; Strobel et al., 1999, 2000), o ácido propiônico Estilosantesá presente em concentrações mais

elevadas no solo. Ainda, pode-se observar que para os tratamentos Calopogônio, Crotalária e Soja Perene, foi observado a presença do ácido butírico, sendo para o último tratamento citado, ainda a presença dos ácidos acético e Shiquímico, no entanto, em menores concentrações.

Tabela 4. Concentrações dos ácidos orgânicos em argissolo amarelo cultivados com diferentes adubos verdes no agreste pernambucano.

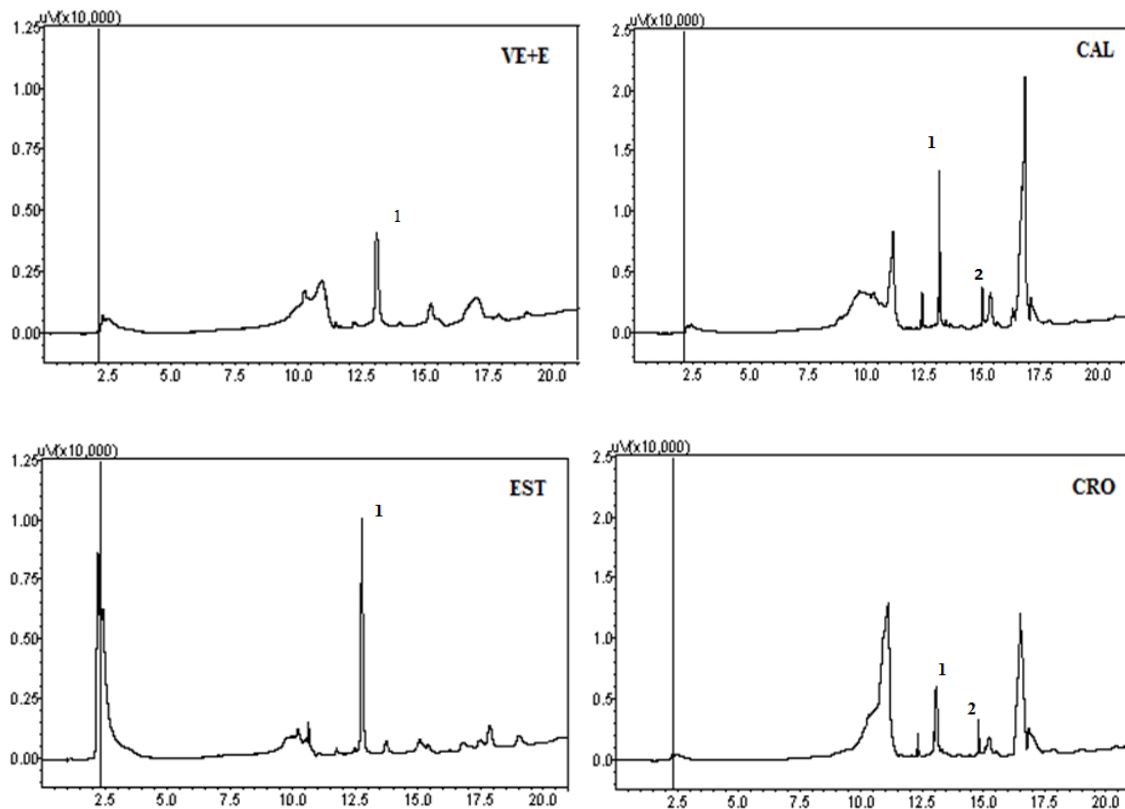
Ácidos Orgânicos				
	Ác. Propiônico	Ác. Acético	Ác. Butírico	Ác. Shiquímico
	-----mg.kg ⁻¹ -----			
SOLO				
VE+E	29,31	-	-	-
CAL	24,95	-	1,49	-
EST	45,93	-	-	-
CRO	32,48	-	1,37	-
FGA	34,02	-	-	-
PUE	26,08	-	-	-
SP	20,46	5,20	1,31	111,86
PARTE AÉREA				
	Ác. Isobutírico	Ác. Shiquímico		
VE+E	50000,0	-		
CAL	-	62408,57		
EST	-	-		
CRO	-	-		
FGA	-	-		
PUE	-	-		
SP	-	-		

* VE+E= Vegetação espontânea+esterco, CAL= Calopogônio, EST=Estilosantes, CRO= Crotalária, FGA= Feijão Guandu Anão, PUE= Puerária e SP= Soja Perene.

Os resultados obtidos, discordam dos relatados por Camargo et al. (2001) e Sousa (2001), que afirmam que o ácido acético tem sido encontrado em maiores concentrações, seguido do propiônico e do butírico. Ainda, de acordo com Koo (2001), em estudos com diferentes espécies vegetais, os ácidos acético e butírico, entre quatro ácidos orgânicos avaliados foram responsáveis por 72 a 88% do total de ácidos orgânicos coletados.

Segundo Silva et al. (2002), os ácidos acético, butírico e propiônico têm sido identificados na rizosfera de muitas plantas, como alfafa (*Medicago sativa Urban*), nabo (*Brassica napus*), tremoço (*Lupinus albus L.*), soja (*Glycine max (L.) Merrill*) e feijão (*Phaseolus vulgaris L.*).

Os ácidos orgânicos encontrados para os diferentes adubos verdes são voláteis alifáticos monocarboxílicos de cadeia curta e baixo peso molecular (C1 a C4), que são os principais produtos da decomposição anaeróbia da matéria orgânica, (CAMARGO et al., 2001). Sua importância em exudatos radiculares e rizosfera em geral estão relacionadas ao efeito que estes podem ter na disponibilidade de nutrientes para as plantas.



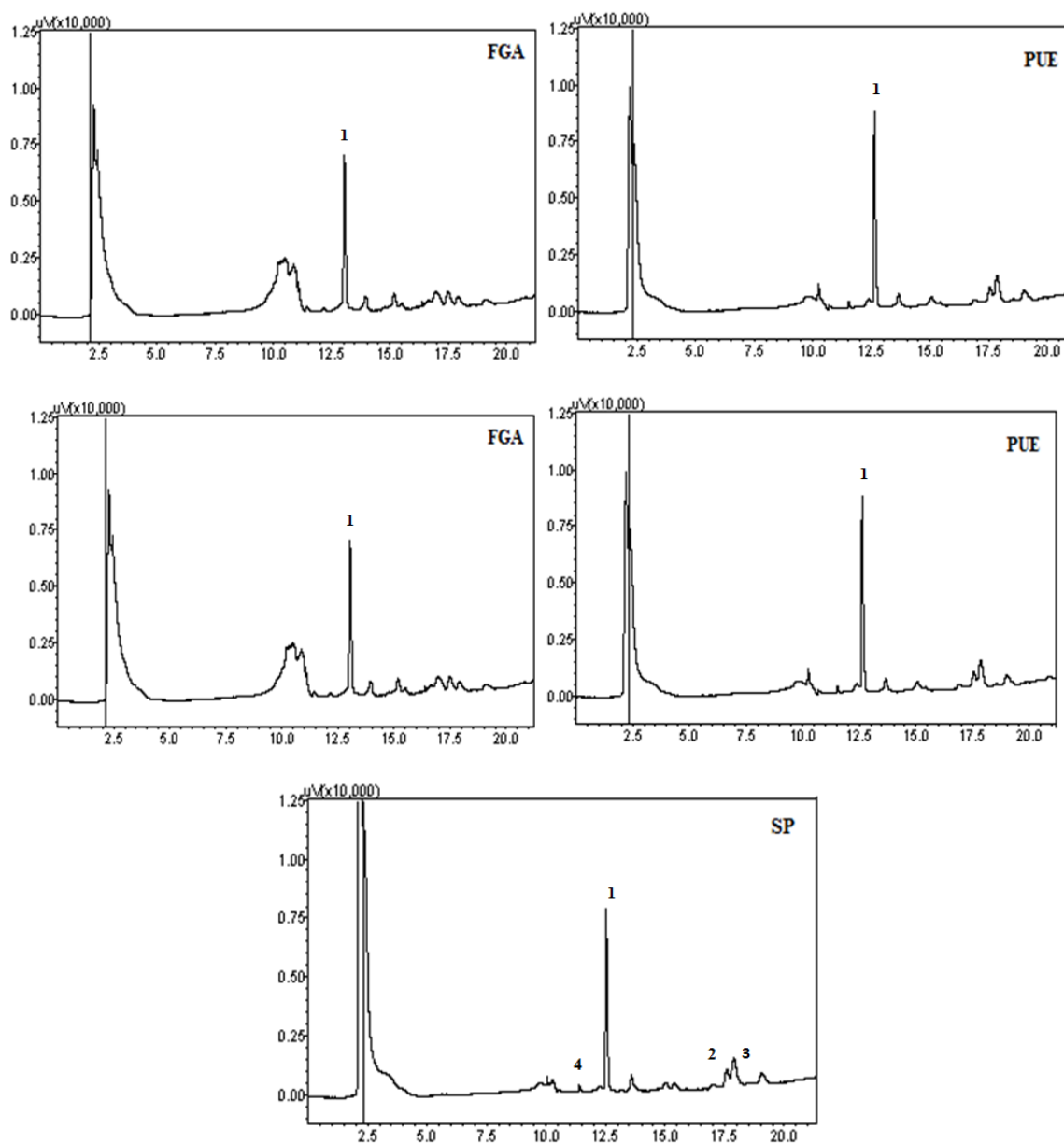


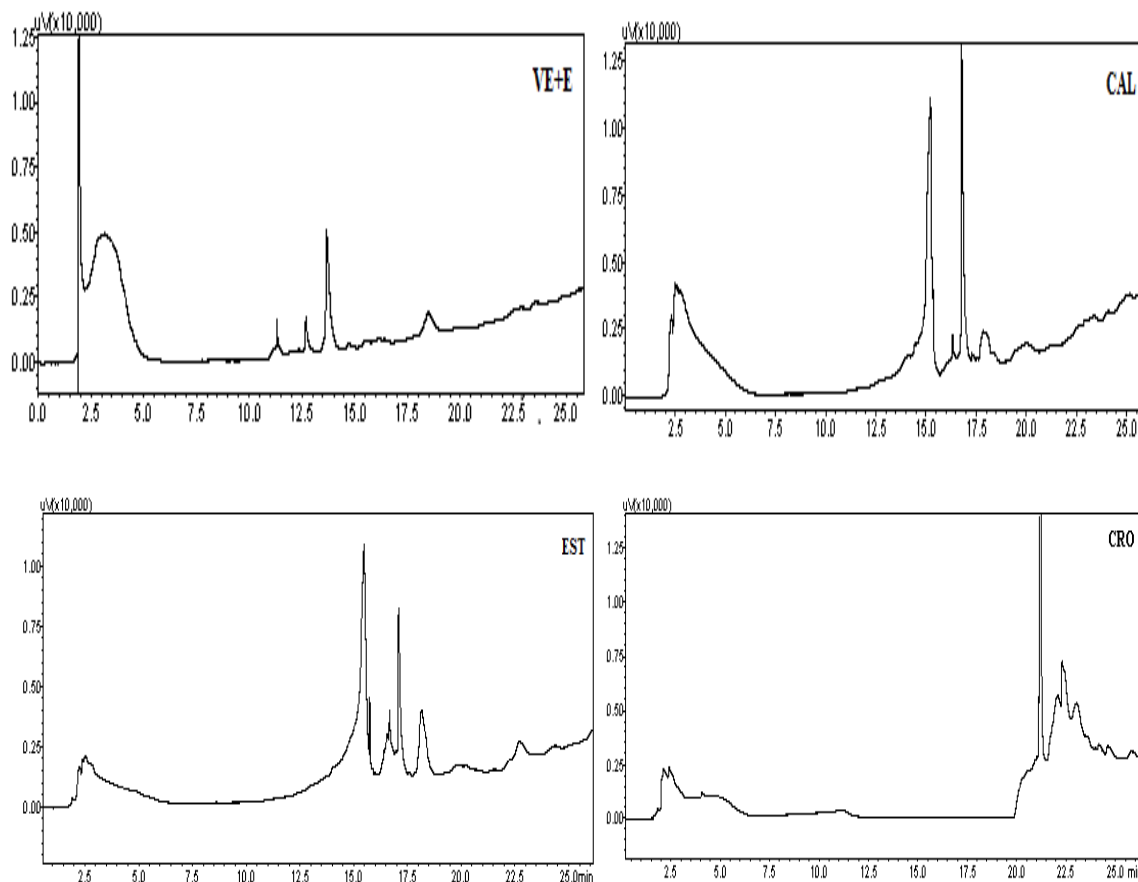
Figura 1. Cromatogramas demonstrando a presença de ácidos orgânicos em solos cultivados com leguminosas utilizadas como adubação verde no Agreste Pernambucano. Ve+E= Vegetação espontânea+esterco, CAL= Calopogônio, EST=Estilosantes, CRO= Crotalária, FGA= Feijão Guandu Anão, PUE= Puerária e SP= Soja Perene. ⁽¹⁾ Propiônico ⁽²⁾ Butírico ⁽³⁾ Acético ⁽⁴⁾ Shiquímico ⁽⁵⁾ Isobutírico.

Observando os Cromatogramas (**Figura 1**) pode-se observar que o uso de leguminosas como adubação verde, promove uma maior liberação de ácidos orgânicos,

quando comparado ao tratamento VE+E, em que mesmo apresentando o ácido propiônico presente nos demais tratamentos, intensidade de pico foi menor.

De acordo com Moraes (2005), as baixas concentrações de ácidos orgânicos pode ser resultado da rápida degradação promovida pelos microrganismos, ou adsorção aos coloides do solo, sendo a sua reposição na solução do solo dependente da produção de exudatos por raízes e na presença de microrganismos, além de produtos de decomposição da matéria orgânica e de resíduos orgânicos, muito embora seja difícil separar a origem dessas fontes no solo (VAN HEES et al., 2005).

A análise dos ácidos orgânicos da planta não identificou picos referentes aos padrões utilizados no estudo para os tratamentos: Estilosantes, Crotalaria, Feijão Guandu Anão, Puerária e Soja Perene (**Figura 2**).



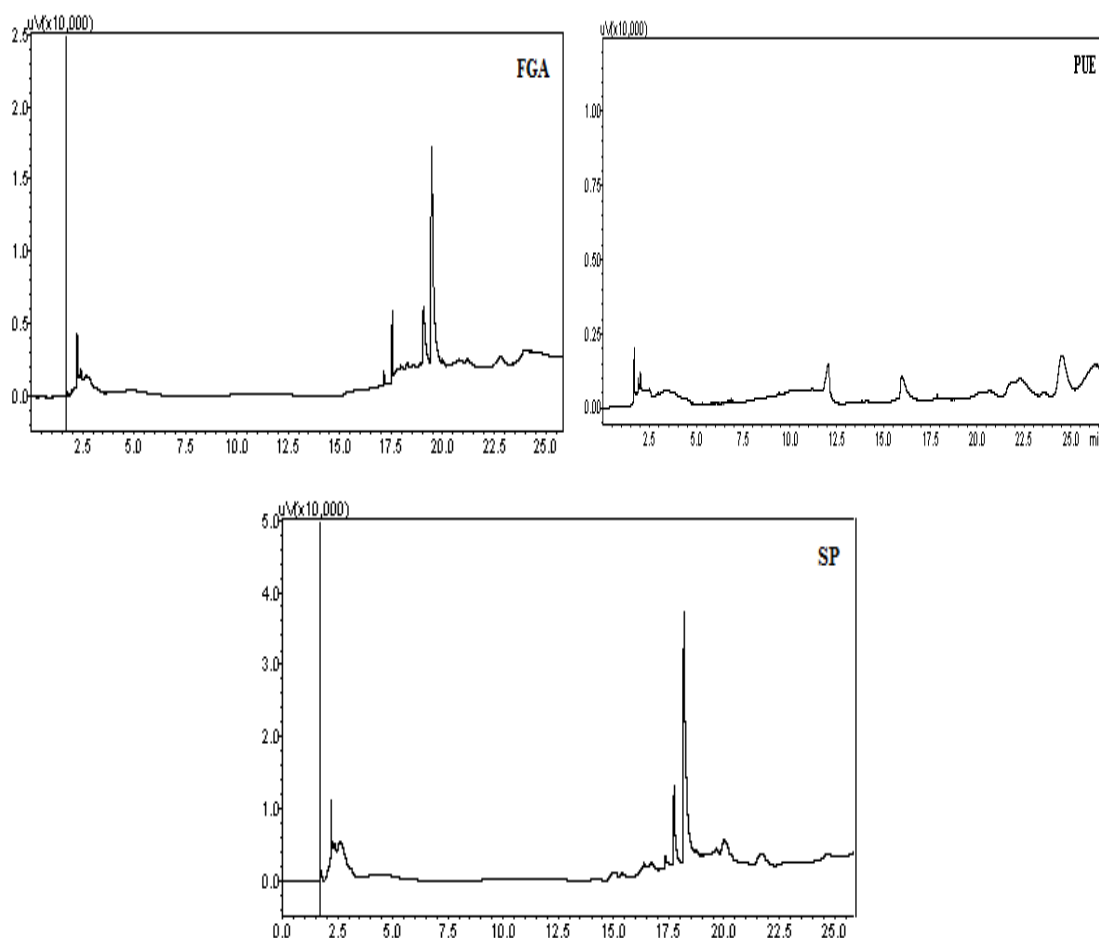


Figura 2. Cromatogramas demonstrando a presença de ácidos orgânicos na parte aérea de leguminosas utilizadas como adubação verde no Agreste Pernambucano. Ve+E= Vegetação espontânea+esterco, CAL= Calopogônio, EST=Estilosantes, CRO= Crotalária, FGA= Feijão Guandu Anão, PUE= Puerária e SP= Soja Perene. ⁽¹⁾ Propiônico ⁽²⁾ Butírico ⁽³⁾ Acético ⁽⁴⁾ Shiquímico ⁽⁵⁾ Isobutírico.

No cromatograma dos tratamentos VE+E foi encontrada a presença do ác. Isobutírico, enquanto que no Calopogônio foi observado pico do ác. Shiquímico. Ao avaliar os Cromatogramas para os diferentes tratamentos, observa-se que a grande maioria dos picos aparecem em tempos de retenção superiores a 17 min, no entanto, os ácidos orgânicos padrões utilizados situam-se em tempos de retenções máximos de 16 min (**Tabela 3**). Desta forma, os resultados dos picos presentes nos Cromatogramas podem ser referentes a algum tipo de ácido orgânico, mas que não tenham sido utilizados no presente estudo. Em resultados obtidos por Pegorano et al. (2006) foi observado em resíduos vegetais de

guandu, a presença de ácidos orgânicos como acético, fumárico, oxálico, butírico, entre outros.

4. CONCLUSÃO

1. O ácido propiônico esteve presente no solo de todos os tratamentos avaliados, sendo sua maior concentração observada na presença de Estilosantes.
2. A Soja Perene foi à espécie que proporcionou maior distribuição de ácidos orgânicos: Propiônico, Butírico, Acético e Shiquímico.
3. Os ácidos Orgânicos Isobutírico e Shiquímico foram detectados na parte aérea da Vegetação espontânea+Esterco e Calopogônio respectivamente.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I. & DESCHAMPS, F.C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do Calcário aplicado na superfície do solo. **Rev. Bras. Ciênc. do Solo**, 28:115-123, 2004.
- AQUINO, F.T. e SANTIAGO-SILVA, M. **Determinação de ácidos carboxílicos em composto de resíduos sólidos urbanos por Cromatografia gasosa com detector de ionização em chama**. Ecl. Quimica., São Paulo, 25-30, 2006.
- BAZIMARAKENGA,B.;SIMARD,R.R. e LEUROX, G.D. Determination of organic acids in soil extracts by ion chromatography. **Soil Biology and Biochemistry**,v.27,p.349-356.1995.
- CAMARGO, F. A. O.; ZONTA, E.; SANTOS, G. A. et al. Aspectos fisiológicos da toxidez de ácidos orgânicos voláteis em plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n.3, p.523-529, 2001.

- CAMARGO, F.A.O., SANTOS, G.A., ROSSIELLO, R.O.P. Efeito dos ácidos acético e butírico sobre o crescimento de plântulas de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.9, p.1011-1018, 1993.
- CARVALHO, G.R. **Ácidos orgânicos, açúcares e nutrientes em lixiviados de materiais vegetais**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2003. 48p. (Tese de Mestrado).
- FOX, T.R.; COMERFORD, N.B. Low molecular weight organic acids in selected forest soil of the southwestern USA. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.54, p.1139-1144, 1990.
- FRANCHINI, J.C.; GONZALEZ-VILA, F.J.; CABRERA, F.; MIYAZAWA, M. & PAVAN, M.A. **Rapid transformations of plant water-soluble organic compounds in relation to cation mobilization in an acid Oxisol**. *Plant Soil*, 231:55-63, 2001.
- FRANCHINI, J.C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M. & PAVAN, M.A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Rev. Bras. Ciênc. do Solo**, 23:533-542, 1999.
- HARPER, S.H.T., LYNCH, J.M. The chemical components and decomposition of wheat straw leaves, internodes and nodes. **Journal of Science of Food and Agriculture**, Baltimore, v.32, p.1057-1062, 1981.
- HEES, P.A.W. van, Dahle'n, J., Lundstro'm, U.S., Bore'n, H., Allard, B., 1999. Determination of low molecular weight organic acids in soil solution by HPLC. *Talanta* 48, 173-179.
- JONES, D. L. **Organic acids in the rhizosphere- a critical review**. *Plant and Soil*, The Hague, v. 205, p. 25-44, 1998.
- KOO, B.J. **Assessing bioavailability of metals in biosolid treated soils: root exudates and their effects on solubility of metals**. 2001. 261p Thesis (Ph.D.) - University of California, Riverside.
- LI, M. G.; SHINANO, T.; TADANO, T. Distribution of exudates of lupin roots in the rhizosphere under phosphorus deficient conditions. **Soil Science and Plant Nutrition**. V.43, p. 237-245, 1997.

- MORAES, M. F. **Mobilidade de íons em solo ácido com aplicação de Calcário e material vegetal em superfície.** Campinas-SP. Dissertação. 80 fls. 2005.
- SILA, F. A. de M. et al. Determinação de ácidos orgânicos de baixo peso Molecular na rizosfera de cafeeiro por Cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE). **Ciênc. agrotec.**, Lavras. Edição Especial, p.1391-1395, dez., 2002.
- SILVA et al, F. A. M. Determinação de ácidos orgânicos de baixo peso Molecular na rizosfera de cafeeiro por Cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE). **Ciênc. agrotec.**, Lavras. Edição Especial, p.1391-1395, dez., 2002.
- SOUSA, R.O. **Oxirredução em solos alagados afetada por resíduos vegetais.** Porto Alegre, 2001. 164f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- STROBEL, B.W., Bernhoft, I., Borggaard, O.K., 1999. **Low-molecular-weight aliphatic carboxylic acids in soil solutions under different vegetations determined by capillary zone electrophoresis.** *Plant Soil* 212, 115–121.
- STROBEL, B.W., Hansen, H.C.B., Borggaard, O.K., Andersen, M.K., Raulund-Rasmussen, K., 2000. **Composition and reactivity of DOC in forest floor soil solutions in relation to tree species and soil type.** *Biogeochemistry*, in press.
- TAKAI, T., KOYAMA, T., KAMURA, T. Microbial metabolism in reduction process of paddy soils. Part 2. Effect of iron and organic matter on the reduction process. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v.9, p.176-180, 1963.
- VAN HESS, P.A.W.; JONES D.L.; FINLAY, R.; GODBOLD, D.L. & LUNDSTRÖN, U.S. The carbon we do not see – the impact of low molecular weight compounds on carbon dynamics and respiration in forest soils: A review. **Soil Biol. Biochem.**, 37:1-13, 2005.

APÊNDICE

Tabela 1. Fitomassa verde e seca, e relação C/N das diferentes espécies utilizadas como adubação verde no Agreste Pernambucano.

TRAT	FV (t.ha ⁻¹)		C/N	
	120 DAS	365 DAS	120 DAS	365 DAS
VE + E	42,92 cd	6,67 d	23,22 a	18,60 a
CAL	103,82 bc	13,37 cd	16,96 bc	11,89 d
EST	42,58 cd	86,29 a	15,31 bc	18,36 a
CRO	173,61 a	44,81 bcd	14,37 c	17,83 ab
FGA	113,43 ab	60,04 ab	17,08 bc	16,25 abc
PUE	32,94 d	53,36 abc	20,08 ab	14,83 bcd
SP	26,92 d	29,31 bcd	15,86 bc	13,83 cd
CV (%)	20,97	25,81	13,55	9,53

*Médias seguidas de letra iguais, nas mesmas frações de fósforo, não diferem entre si pelo teste Tukey (P<0,05). FV= Fitomassa Verde, FS= Fitomassa Seca. Ve+E= Vegetação espontânea+esterco, CAL= Calopogônio, EST=Estilosantes, CRO= Crotalaria, FGA= Feijão Guandu Anão, PUE= Puerária e SP= Soja Perene.

Tabela 2. Valores de coeficientes microbianos e metabólicos para diferentes espécies utilizadas como adubação verde no Agreste Pernambucano aos 120 e 365 DAS.

	qMIC		q CO ₂	
	120 DAS	365 DAS	120 DAS	365 DAS
VE + E	0,00030 e	0,00152 f	0,011 a	0,007 b
CAL	0,00052 b	0,00182 c	0,005 b	0,007 b
EST	0,00075 a	0,00162 e	0,003 b	0,006 b
CRO	0,00050 c	0,00205 b	0,005 b	0,006 b
FGA	0,00045 d	0,00175 d	0,005 b	0,009 b
PUE	0,00027 f	0,00097 g	0,010 a	0,016 a
SP	0,00025 g	0,00275 a	0,012 a	0,006 b
CV (%)	0	0	27,16	28,45

*Médias seguidas de letra iguais, nas mesmas frações de fósforo, não diferem entre si pelo teste Tukey (P<0,05). Ve+E= Vegetação espontânea+esterco, CAL= Calopogônio, EST=Estilosantes, CRO= Crotalaria, FGA= Feijão Guandu Anão, PUE= Puerária e SP= Soja Perene.

Tabela 3. Frações de fósforo para diferentes espécies utilizadas como adubação verde no Agreste Pernambucano aos 365 DAS.

	Pil	Pol	Ptl
	-----mg kg ⁻¹ -----		
VE+E	3,66 a	12,63 ab	16,03 ab
CAL	3,42 a	11,14 ab	14,56 ab
EST	3,15 a	11,16 ab	14,31 ab
CRO	4,21 a	15,32 a	19,54 a
FGA	1,71 a	9,36 b	11,08 b
PUE	1,96 a	14,84 ab	16,8 ab
SP	1,23 a	2,89 c	4,12 c

*Médias seguidas de letra iguais, nas mesmas frações de fósforo, não diferem entre si pelo teste Tukey (P<0,05). Ve+E= Vegetação espontânea+esterco, CAL= Calopogônio, EST=Estilosantes, CRO= Crotalária, FGA= Feijão Guandu Anão, PUE= Puerária e SP= Soja Perene.