



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

TIAGO DA COSTA SILVA

CARBONO ORGÂNICO E NITROGÊNIO EM SOLO DE BANANAL
IRRIGADO E SUBMETIDO A PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS

FORTALEZA

2013

TIAGO DA COSTA SILVA

CARBONO ORGÂNICO E NITROGÊNIO EM SOLO DE BANANAL IRRIGADO E
SUBMETIDO A PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof (a). Dra. Mirian Cristina Gomes Costa

FORTALEZA

2013

TIAGO DA COSTA SILVA

CARBONO ORGÂNICO E NITROGÊNIO EM SOLO DE BANANAL IRRIGADO E
SUBMETIDO A PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof (a). Dra. Mirian Cristina Gomes Costa

Aprovado em:

BANCA EXAMINADORA

Prof (a). Dra. Mirian Cristina Gomes Costa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof (a). Dra. Daniela Queiroz Zuliani
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

Dra. Adriana Guirado Artur
Pós- doutoranda da Universidade Federal do Ceará

A Deus, por mais uma vitória. Aos meus pais, Messias e Oselina, pelo amor infinito. E à Nayara pelo muito que representa para mim e por estar sempre comigo ao longo dessa jornada.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e pela salvação. Por estar ao meu lado em todos os momentos me ajudando a vencer os obstáculos, transformando as minhas fraquezas em força e por me conceder a vitória em mais um desafio.

Aos meus pais, Messias e Oselina, pelo amor incondicional, por nunca medirem esforços para que eu tivesse boa formação pessoal e profissional, que sempre se fizeram presentes ajudando em todas as dificuldades e mostrando qual o correto caminho a percorrer, pelo eterno carinho, por sempre acreditarem em minha capacidade, pelas muitas horas de conversas, conselhos e orações, mesmo quando eu não estava disposto a ouvi-los, pelo apoio constante, pelos pés no chão, pelo exemplo de vida e por torcerem pelo meu sucesso. Para vocês meu eterno e infinito amor e gratidão.

À Nayara, pelo carinho, amor, apoio, dedicação, companheirismo, paciência, amizade, pelos sonhos compartilhados, por sempre acreditar que eu seria capaz e por tudo o que ela representa em minha vida.

Ao meu irmão Natã, pela amizade, companheirismo, pelos momentos alegres compartilhados, pela sua constante ajuda e pelo sentimento de amor recíproco.

À Universidade Federal do Ceará, ao Departamento de Ciências do Solo e a todos os professores e funcionários pela oportunidade de formação profissional e pessoal.

À professora Dra. Mirian Cristina Gomes Costa, por aceitar ser minha orientadora, pela amizade, respeito, ensinamentos, disposição, compreensão e paciência durante toda a execução desse trabalho, meu muito obrigado.

Ao professor Dr. Claudivan Lacerda, por disponibilizar a área experimental para coleta das amostras.

Aos amigos da turma de pós-graduação de 2011.1 e àqueles que tive a oportunidade de conhecer ao longo do curso: Bruno Meneses, Bruna, Carlos Vitor, Edineide, Emanuel, Gabriel, Izabel Almeida, Juliana Vieira, Régis Santos e Ronaldo; pela ajuda, amizade, companheirismo, pelos momentos de estudos, de alegrias, risadas, descontrações e sonhos compartilhados.

À Capes pela concessão da bolsa de estudos durante os anos de mestrado.

E a todos, que direta ou indiretamente, contribuíram para que eu chegasse até aqui. Muito obrigado!

*“Todas as coisas cooperam para o bem daqueles
que amam a Deus”*

Romanos 8: 28

RESUMO

O Nordeste tem se destacado nos últimos tempos como a maior região brasileira produtora de bananas. Para garantir a manutenção da alta produtividade de forma sustentável, várias técnicas vêm sendo utilizadas como, por exemplo, a irrigação, a cobertura do solo e a adubação verde. Diante disso, objetivou-se avaliar a produção de matéria seca dos adubos verdes, o teor e as formas de nitrogênio (N) no solo, o carbono orgânico total (COT) no solo e acúmulo de carbono orgânico nas frações da matéria orgânica em bananeiras irrigadas submetidas à adubação verde. O estudo foi realizado em experimento instalado na fazenda experimental da Universidade Federal do Ceará (Pentecoste – CE). O delineamento experimental referente à produção de matéria seca foi em blocos casualizados, com parcelas subdivididas e quatro repetições. Nas parcelas foram avaliadas quatro lâminas de irrigação (50, 75, 100 e 125 % da evapotranspiração da cultura) e nas subparcelas foram avaliados os adubos verdes *Pueraria phaseoloides*, *Calopogonium muconoides* L, vegetação espontânea e resíduo da bananeira. Já para o N-total, N-inorgânico, COT e carbono nas substâncias húmicas o delineamento experimental foi em blocos casualizados, com parcelas subdivididas e quatro repetições. Nas parcelas e subparcelas foram avaliados os mesmos tratamentos para a produção de matéria seca, nas subsubparcelas foram avaliados os teores de N-total, N-inorgânico, COT e carbono nas substâncias húmicas nas camadas de solo (0-5 cm e 5-10 cm). Para a produção de matéria seca, não houve diferença significativa entre as lâminas de irrigação. Já entre as coberturas do solo, a testemunha apresentou maior média de produção de matéria seca por m² seguido pela *Pueraria phaseoloides*. A camada superficial do solo das subparcelas adubadas com *Pueraria phaseoloides* e irrigadas com a menor lâmina de irrigação apresentaram maior teor de N-total e de COT em relação aos demais tratamentos, ao longo do experimento. Houve redução no teor de N-NO₃⁻ com aumento da lâmina de irrigação, o N-NH₄⁺ apresentou tendência inversa. Entre as substâncias húmicas, a fração ácido fúlvico foi a que apresentou maior quantidade de carbono orgânico. Os maiores teores de N-total, N-NO₃⁻ e COT nas condições estudadas foi garantida por lâmina de irrigação que forneça até 75% da evapotranspiração da cultura e pela utilização da leguminosa *Pueraria phaseoloides* como adubo verde.

Palavras-Chave: Biomassa vegetal. Formas de nitrogênio. Substâncias húmicas.

ABSTRACT

The Northeast has been highlighted in last times as the largest Brazilian region producing banana. To ensure the maintenance of high productivity in a sustainable manner some techniques have been used, for example, the use of irrigation, mulching and the application of green manure. Therefore, was aimed to evaluate the dry matter production of the green manure, the content and the different forms of nitrogen (N) of soil, the total organic carbon (TOC) of soil and accumulation of organic carbon in the organic matter fractions in banana plantation irrigated and submitted to the green manure. The study was conducted in an experiment installed at the experimental farm of the Federal University of Ceará (Pentecoste – CE). The experimental design on production of dry matter was randomized blocks with split plot and four replications. In the plots were evaluated four depths of irrigation (50, 75, 100 and 125 % of crop evapotranspiration) and in the subplots were evaluated the green manures *Pueraria phaseoloides*, *Calopogonium muconoides* L, spontaneous vegetation and residue of the banana tree. Already for the total-N, inorganic-N, TOC and carbon in the humic substances the experimental design was randomized blocks with sub sub divided plot and four replications. In the plots and subplots were evaluated the same treatments for the production of dry matter, in the subsubplots were evaluated the content of total-N, inorganic-N, TOC and carbon in the humic substances in the soil layers (0-5 cm e 5-10 cm). For the production of dry matter not have significant difference between the depths irrigation. Already between the soil cover the witness showed higher mean of production of the dry matter per m² followed by *Pueraria phaseoloides*. The layer superficial of soil in the subplots fertilized with the *Pueraria phaseoloides* and irrigated with the lower irrigation depths showed higher content of total-N and TOC in relation to other treatments throughout the experiment. There was a reduction in the content of N-NO₃⁻ with increasing the irrigation depths, the N-NH₄⁺ showed tendency reverse. Between the substances humic, the fulvic acid fraction were what showed higher content organic carbon. The highest contents of total-N, N-NO₃-and TOC in the studied conditions were promoted by irrigation depths that provide up to 75% of the crop evapotranspiration and by the use of *Pueraria phaseoloides* as green manure.

Keywords: Vegetal biomass. Nitrogen forms. Humic substances.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	10
1.1 Importância do cultivo da banana.....	10
1.2 A adubação verde.....	11
1.3 O uso de leguminosas como adubo verde.....	13
1.4 Irrigação como um dos fatores que influenciam a adubação verde.....	14
REFERÊNCIAS	17
2 CAPÍTULO 1: PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA, NITROGÊNIO TOTAL E FORMAS DE NITROGÊNIO EM ÁREAS SUBMETIDAS À IRRIGAÇÃO E ADUBAÇÃO VERDE	20
RESUMO	20
ABSTRACT	21
2.1 INTRODUÇÃO	22
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	27
2.2.1 Localização da área experimental.....	27
2.2.2 Delineamento experimental.....	28
2.2.3 Condução da área experimental.....	29
2.2.4 Coleta das amostras.....	29
2.2.5 Procedimentos analíticos.....	29
2.2.6 Análises estatísticas.....	30
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
2.3.1 Produção de matéria seca vegetal.....	31
2.3.2 Nitrogênio total do solo.....	34
2.3.3 Nitrogênio inorgânico do solo.....	41
2.4 CONCLUSÕES	49
REFERÊNCIAS	50
3 CAPÍTULO 2: MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO COMO RESULTADO DA IRRIGAÇÃO E DA ADUBAÇÃO VERDE	56
RESUMO	56
ABSTRACT	57
3.1 INTRODUÇÃO	58
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	62
3.2.1 Localização da área experimental.....	62
3.2.2 Delineamento experimental.....	63
3.2.3 Condução da área experimental.....	64
3.2.4 Coleta das amostras.....	64
3.2.5 Procedimentos analíticos.....	64
3.2.6 Análise estatística.....	65
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
3.3.1 Carbono orgânico total.....	66
3.3.2 Fracionamento químico da matéria orgânica.....	71
3.4 CONCLUSÕES	76
REFERÊNCIAS	77

INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

1.1 Importância do cultivo da banana

Originária da Índia, a banana (*Musa* spp.) é uma das frutas tropicais mais exploradas e consumidas mundialmente devido sua importância econômica e social. As diversas camadas da população mundial consomem banana, não só como sobremesa, mas como fonte alimentar. A banana é importante na alimentação humana uma vez que possui vitaminas, carboidratos, minerais, proteínas e baixo valor calórico (EMBRAPA, 2004).

A produção global de banana quase triplicou nos últimos 30 anos, aumentando de 35 milhões de toneladas em 1979 para 95 milhões de toneladas em 2009, refletindo o aumento das áreas de cultivo. No âmbito mundial, segundo a FAO (Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação), no ano de 2010 a Índia foi o maior produtor de banana, seguida pela China, Filipinas, Equador e Brasil. Grande parte da produção brasileira é consumida pela população do próprio país e apenas uma pequena parcela é destinada à exportação (SILVA NETO; GUIMARÃES, 2011).

A produção de banana no Brasil abrange todo território nacional, sendo a região Nordeste a maior produtora, seguida pelas regiões Norte, Sudeste, Sul e Centro-Oeste. As condições climáticas da região Nordeste, associadas ao correto manejo da irrigação e do solo, possibilitam alta produção da cultura.

Planta tipicamente tropical, a bananeira exige calor constante, precipitações bem distribuídas, alta luminosidade e elevada umidade relativa para o seu bom desenvolvimento e produção. A faixa de temperatura ótima é de 26 – 28°C, com mínimas não inferiores a 15°C e máximas não superiores a 35°C. A cultura exige solos profundos, bem drenados, com boa capacidade de retenção de água e com textura média. Devem ser evitados solos muito arenosos (devido à baixa fertilidade e baixa capacidade de retenção de água) e muito argilosos (devido maior dificuldade de preparo para o plantio, maior risco de compactação e encharcamento) (EMBRAPA, 2004).

Dentre os estados da região Nordeste os que mais se destacam na produção de banana são: Bahia, Ceará, Pernambuco e Rio Grande do Norte. No Ceará, a maior parte da produção se concentra nas microrregiões serranas (Maciço de Baturité) e nos perímetros irrigados, principalmente os da região do Baixo Jaguaribe. No Maciço de Baturité predominam os produtores menos tecnificados, cultivando principalmente em

regime de sequeiro. Já nos perímetros irrigados, os produtores são mais tecnificados e a produção destina-se a um mercado mais exigente.

Segundo informações do IPECE (2012), no estado do Ceará, houve aumento na produção de bananas no ano de 2011 quando comparado com 2010. Também é importante destacar que a bananicultura tem contribuído para a geração de emprego e renda no âmbito mundial, nacional e principalmente regional, permitindo a permanência do produtor rural no campo e dando novas possibilidades de vida aos mesmos.

Para garantir o sucesso da bananicultura é preciso atentar para os aspectos técnicos associados à produção, dentre os quais se destacam as práticas de manejo e conservação do solo. Nesse sentido, a adubação verde aparece como opção para melhorar o aproveitamento de nutrientes, reduzindo gastos com fertilizantes minerais, e também para melhorar a qualidade do solo por meio do aporte de matéria orgânica.

1.2 A adubação verde

Visando reduzir os gastos com fertilizantes minerais e uma produção mais sustentável, tem sido estimulada a introdução de formas alternativas de adubação por meio de adubos orgânicos. Dentre essas formas destaca-se o uso de resíduos orgânicos de origem vegetal e animal. A utilização de adubos orgânicos de origem animal ganha cada vez mais importância devido à conservação das propriedades físicas e químicas do solo e redução do uso de adubos minerais (SOUZA *et al.*, 2003). Porém, no futuro, o uso de esterco e compostos de origem animal pode sofrer limitações pela alta demanda na produção e pela dependência de insumos externos; dessa forma, a utilização de adubos verdes pode reduzir as doses de adubos de origem animal ou mineral e contribuir com o aporte de nitrogênio (N) no solo (CASTRO *et al.*, 2004).

Denomina-se adubo verde a planta cultivada, ou não, com a finalidade de enriquecer o solo com sua massa vegetal, quer produzida no local ou importada (AMBROSANO *et al.*, 2005). A importância da adubação verde no aumento da produtividade das culturas subsequentes já é bastante reconhecida pelos agricultores (FAGERIA; SANTOS, 2007). Oliveira *et al.* (2000) observaram que a adubação verde proporcionou aumento de até 300% no rendimento de castanhas de caju. Fageria e Santos (2007) avaliando a resposta do arroz irrigado à adubação verde, concluíram que o uso de adubos verdes aumentou a produtividade da cultura. Espíndola *et al.* (2006) observaram que o uso de leguminosas como plantas de cobertura e adubo verde

proporcionou aumentos na produtividade, no número de frutos por cacho e de pencas por cacho das bananeiras.

São vários os benefícios da adubação verde para o sistema de produção, com destaque para: maior proteção do solo contra erosão, fixação de N, reciclagem de nutrientes, melhoria da estrutura e aeração do solo, maior infiltração de água, aumento no teor de matéria orgânica, diminuição das perdas de nutrientes por lixiviação e aumento da fertilidade do solo (ESPÍNDOLA *et al.*, 1997).

A escolha da espécie a ser utilizada como adubo verde é importante, uma vez que a eficácia da adubação verde depende da escolha adequada da planta utilizada como adubo. Não existe uma espécie padrão a ser utilizada, pois todas apresentam limitações, vantagens e desvantagens. Porém, alguns fatores são importantes na escolha, tais como: fatores climáticos, o solo, o sistema agrícola adotado, a finalidade da adubação, o potencial de fixação biológica de N, o acúmulo de N na parte aérea, profundidade do sistema radicular, adaptação local, competitividade com espécies espontâneas, tolerância às pragas e doenças e a sincronia entre os nutrientes liberados pelos adubos verdes e a demanda da cultura de interesse. Se houver alta taxa de mineralização dos nutrientes e a demanda nutricional da cultura adubada for baixa, pode haver perdas por lixiviação e a cultura não será beneficiada (CREWS; PEOPLES, 2005).

A prática da adubação verde, principalmente com leguminosas, proporciona maior aporte de N e carbono (C) orgânico ao solo. Os principais responsáveis pela adição de compostos orgânicos ao solo são os vegetais (RIBEIRO *et al.*, 2011). Dependendo da quantidade de resíduos orgânicos depositados ao solo e da prática de manejo adotada, poderá haver acréscimo ou redução no teor de N e C orgânico.

Grande quantidade de substâncias orgânicas é aportada ao solo com o uso de adubos verdes, entre elas destacam-se: os exsudatos radiculares, a biomassa radicular e foliar e os ácidos orgânicos. A interação desses compostos orgânicos forma um ativador biológico no solo proporcionando melhorias na qualidade do mesmo (DELARMELINDA *et al.*, 2010).

O produto final resultante da decomposição do material vegetal aportado na forma de adubo verde constitui as substâncias húmicas que fazem parte do componente passivo da matéria orgânica. Essas substâncias são formadas a partir de vários processos de síntese e resíntese dos materiais orgânicos adicionados e contribuem com cerca de 90% do C orgânico no solo. As substâncias húmicas podem ser fracionadas em humina,

ácidos fúlvicos e ácidos húmicos, por meio de uso de soluções alcalinas e ácidas (SCHIAVO *et al.*, 2007).

1.3 O uso de leguminosas como adubo verde

As plantas da família das leguminosas são as mais utilizadas como adubo verde. A principal razão para essa preferência é a capacidade de simbiose com bactérias fixadoras de N₂ atmosférico (SILVA; MENEZES, 2007), disponibilizando N para a cultura de interesse comercial. A rusticidade, a elevada produção de matéria seca e o sistema radicular geralmente profundo e ramificado, capaz de extrair nutrientes das camadas mais profundas do solo, constituem outras vantagens do uso de leguminosas.

Além disso, Fernandes *et al.* (1999) destacam também o efeito alelopático e supressivo sobre as plantas daninhas como ocorre com o feijão-de-porco, a crotalária e a mucuna preta. Outra característica importante das leguminosas é a baixa relação C/N, quando comparada a plantas de outras famílias. Este aspecto, aliado à grande presença de compostos solúveis, favorece sua decomposição e mineralização por microrganismos do solo e a reciclagem de nutrientes (ZOTARELLI, 2000).

A contribuição de N pelas leguminosas para outras culturas em consórcio depende da espécie de leguminosa, da fixação biológica de N e do crescimento da planta, que é determinado pelo clima, pelo solo e pelo manejo dos resíduos (RAO; MATHUVA, 2000).

As leguminosas de dupla aptidão, além de serem usadas como adubo verde e/ou plantas de cobertura, também produzem alimento para o homem e forragem para os animais. São mais atrativas para os agricultores de pequena escala, pois além de fornecerem alimentos para o homem ou para os animais, melhoram a qualidade do solo do ponto de vista químico, físico e biológico, quando incorporadas.

As leguminosas herbáceas perenes são interessantes como plantas de cobertura em pomares (BRYAN *et al.*, 2001), uma vez que tais espécies podem ser semeadas e mantidas como cobertura viva do solo por meio de roçadas periódicas, dispensando a necessidade de novas compras de sementes ou mudas (GUERRA *et al.*, 2007). Após o roço, os resíduos das plantas de cobertura podem ser mantidos sobre a superfície ou podem ser incorporados ao solo.

Várias espécies de leguminosas podem ser utilizadas como adubo verde, dentre elas: a *Pueraria phaseoloides* e o *Calopogonium muconoides* L. A *Pueraria*

phaseoloides, conhecida popularmente como cudzu tropical, é uma planta originária da Ásia, que possui boa resistência ao sombreamento, o que possibilita sua escolha como planta de cobertura em áreas com frutíferas. Cresce melhor em locais úmidos e com temperatura elevada (superior a 18°C), tolera solos ácidos e deficientes em fósforo e cálcio (GUERRA *et al.*, 2007). Possui boa produção de massa seca, em torno de 4 a 8 toneladas ano⁻¹ e elevada fixação de N, cerca de 100 a 200 kg de N por ha ano⁻¹. É utilizada no Acre em áreas destinadas ao plantio de feijão e tem propiciado aumentos de até 20% na produtividade, quando comparada com lavouras de feijão cultivadas em área sem a utilização de leguminosas (FORMENTINI *et al.*, 2008).

O *Calopogonium muconoides* L., conhecida popularmente como calopogônio, é uma leguminosa forrageira originada no hemisfério sul. Possui como principais características a capacidade de vegetar em condições de acidez elevada e baixa fertilidade do solo, além da alta tolerância ao alumínio. É bastante tolerante à seca e apresenta elevado potencial como adubo verde (SOUZA FILHO; DUTRA, 1998). Possui sistema radicular vigoroso e profundo e compete por água e nutrientes com as culturas consociadas. É preciso observar o período correto das roçadas para evitar esse tipo de concorrência (FORMENTINI *et al.*, 2008). Teodoro *et al.* (2011), avaliando leguminosas herbáceas perenes para utilização como coberturas permanentes de solo na caatinga mineira, concluíram que o *Calopogonium muconoides* L e a *Pueraria phaseoloides* contribuíram para o incremento do N, além do aumento da matéria orgânica sobre o solo, por meio do material senescente e da parte aérea acumulada pelas mesmas.

1.4 Irrigação como um dos fatores que influenciam a adubação verde

Além da escolha da espécie, a adubação verde poderá ser influenciada por outros fatores associados ao manejo da área cultivada, dentre os quais se destaca a irrigação. A irrigação é usada não só para complementar as necessidades hídricas das regiões úmidas, como para tornar produtivas as áreas áridas e semiáridas do planeta. É uma das tecnologias aplicadas na agricultura que mais tem contribuído para o aumento na produção de alimentos (BERNADO; MANTOVANI; SOARES, 2008). No Brasil, a irrigação tem sido alvo de grande interesse, principalmente na região Nordeste, uma vez que visa corrigir a distribuição natural irregular das chuvas. O uso dessa tecnologia tem

induzido a aumentos na produtividade de diversas culturas em comparação com a agricultura de sequeiro.

No Nordeste, a irrigação é destinada principalmente à fruticultura, uma vez que essa é uma atividade lucrativa no contexto econômico nordestino (LIMA; MIRANDA, 2001). Dentre as frutíferas irrigadas destaca-se a bananeira, por apresentar um fruto de grande valor comercial e por demandar grande quantidade de água. A bananeira requer considerável volume de água e boa distribuição das precipitações, o seu consumo é em torno de 3 a 8 mm dia⁻¹, dependendo do tipo de solo.

Em áreas onde a bananeira é plantada em consórcio com leguminosas usadas como adubo verde, a irrigação pode apresentar ação dualística. Seu efeito depende de como essa prática influi nos componentes de adição e de perda de C e N. Informações referentes às implicações da irrigação nos processos que comandam a decomposição e acúmulo da matéria orgânica em solos de regiões semiáridas são escassas. Normalmente, a irrigação resulta no aumento da produção de biomassa vegetal, podendo ser um indicativo de que o aporte de resíduos culturais nas áreas irrigadas é elevado (BONA *et al.*, 2006). Bergonci *et al.* (2001) verificaram aumento de 53% na produção de resíduos de milho decorrente da irrigação por aspersão. O déficit de água no período vegetativo reduz o crescimento das plantas e, conseqüentemente, a produção de biomassa (ARF *et al.*, 2004).

Porém, por aumentar o conteúdo de água no solo, a irrigação pode intensificar a taxa de decomposição microbiana do material orgânico, principalmente nas regiões mais áridas, pois a umidade cria condições favoráveis à ação dos microrganismos (BONA *et al.*, 2006). Bezerra *et al.* (2010) observaram que o uso da irrigação durante a estação seca aumentou a ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares no solo.

A influência da irrigação no estoque de C no solo ainda apresenta resultados contraditórios. Por exemplo, Bona *et al.* (2006), avaliando o teor de carbono orgânico no solo em sistemas irrigados por aspersão sob plantio direto e preparo convencional, observaram que a irrigação aumentou a adição de C pelas culturas em 19 % em relação ao sistema não irrigado, devido à redução do déficit hídrico no sistema irrigado. Porém, a irrigação diminuiu o teor de C orgânico na camada de 0–2,5 cm. Os autores concluíram que a maior adição de resíduos culturais no solo irrigado não foi suficiente para aumentar o estoque de C no solo, uma vez que a taxa de decomposição do material orgânico adicionado aumentou com o uso da irrigação.

Com base no que foi exposto, o presente estudo foi realizado para comprovar as seguintes hipóteses: *i*) a adubação verde com leguminosas aumenta a disponibilidade de N no solo; *ii*) com a adubação verde uma das formas de N (N-NO_3^-) prevalece no solo, principalmente mediante a menor lâmina de irrigação; *iii*) as leguminosas usadas como adubo verde aumentam o C nas frações mais lábeis da matéria orgânica do solo (MOS) quando comparadas ao sistema convencional e à vegetação espontânea.

REFERÊNCIAS

- AMBROSANO, E. J.; GUIRADO, N.; CANTARELLA, H.; ROSSETTO, R.; MENDES, P. C. D.; ROSSI, F.; AMBROSANO, G. M. P.; ARÉVALO, R. A.; SHAMMAS, E. A.; JÚNIOR, I. A.; FOLTRAN, D. E. Plantas para cobertura do solo e adubação verde aplicadas ao plantio direto. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 112, p. 65, dezembro, 2005.
- ARF, O; RODRIGUES, R. A. F; SÁ, M. E; BUZETTI, S; NASCIMENTO, V. Manejo do solo, água e nitrogênio no cultivo de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 2, p. 131-138, fevereiro, 2004.
- BERGONCI, J. I; BERGAMASCHI, H; SANTOS, A. O; FRANÇA, S; RADIN, B. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 7, p. 949-956, julho, 2001.
- BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SOARES, A. A. **Manual de Irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2008. 611 p.
- BEZERRA, M. E. J; LACERDA, C. F; SOUSA, G. G; GOMES, V. F. F; MENDES FILHO, P. F. Biomassa, atividade microbiana e FMA em rotação cultural milho/ feijão-de-corda utilizando-se águas salinas. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 562-570, out-dez, 2010.
- BONA, F. D. de; BAYER, C; BERGAMASCHI, H; DIECKOW, J. Carbono orgânico no solo em sistemas irrigados por aspersão sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 911-920, setembro/outubro, 2006.
- BRYAN, H. H.; ABDUL-BAKI, A. A.; REEVES, J. B. III.; CARRERA, L. M.; KLASSEN, W.; ZINATI, G.; CODALLO, M. Perennial Arachis spp. as a multipurpose living mulch, ground cover and forage. **Journal of Vegetable Crop Production**, Binghamton, v. 7, n. 2, p. 113-116, dezembro, 2001.
- CASTRO, C.M.; ALVES, B.J.R.; ALMEIDA, D.L.; RIBEIRO, R. L. D. Adubação verde como fonte de nitrogênio para a cultura da berinjela em sistema orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 8, p. 779-785, agosto, 2004.
- CREWS, T. E; PEOPLES, M. B. Can the synchrony of nitrogen supply and crop demand be improved in legume and fertilizer-based Agroecosystems? A review. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Germany, v. 72, n.2, p. 101-120, June, 2005.
- DELARMELINDA, E. A; SAMPAIO, F. A. R; DIAS, J. R. M; TAVELLA, L. B; SILVA, J. S da. Adubação verde e alterações nas características químicas de um Cambissolo na região de Ji-Paraná-RO. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 40, n. 3, p. 625 – 628, setembro, 2010.

EMBRAPA. **O cultivo da bananeira**. Bahia: Embrapa Mandioca e Fruticultura, p. 279, 2004.

ESPÍNDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. de. Adubação verde: Estratégia para uma agricultura sustentável. Seropédica: **Embrapa-Agrobiologia**, doc. 42, p. 20, 1997.

ESPÍNDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; PERIN, A.; TEIXEIRA, M. G.; ALMEIDA, D. L. de; URQUIAGA, S.; BUSQUET, R. N. B. Bananeiras consorciadas com leguminosas herbáceas perenes utilizadas como coberturas vivas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 415-420, março 2006.

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B. Resposta do arroz irrigado à adubação verde e química no Estado de Tocantins. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 4, p. 387-392, julho/agosto 2007.

FERNANDES, M. F.; BARRETO, A. C.; EMÍDIO FILHO, J. Fitomassa de adubos verdes e controle de plantas daninhas em diferentes densidades populacionais de leguminosas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 9, p. 1593-1600, setembro, 1999.

FORMENTINI, E. A.; LÓSS, F. R.; BAYERL, M. P.; LOVATI, R. D.; BAPTISTI, E. Cartilha sobre adubação verde e compostagem. **INCAPER**, p. 27, 2008.

GUERRA, J. G. M.; ESPÍNDOLA, J. A. A.; PERIN, A.; TEIXEIRA, M. G.; ALMEIDA, D. L. de; ASSIS, R. L. de. Desempenho de leguminosas tropicais perenes como plantas de cobertura do solo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. **Embrapa-Agrobiologia**, Seropédica, v. 20, p. 39, maio, 2007.

IPECE. **Informe: desempenho da agropecuária cearense em 2011**, n. 31, Abril 2012.

LIMA, J. P. R.; MIRANDA, E. A. A. Fruticultura irrigada no Vale do São Francisco: incorporação tecnológica, competitividade e sustentabilidade. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 32, n. Especial, p. 611-632, novembro 2001.

OLIVEIRA, F. N. S.; LIMA, A. A. C.; AQUINO, A. R. L. de; COSTA, J. B. A. **Adubação verde com leguminosas em pomares de cajueiro anão precoce**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, Boletim de Pesquisa n. 31, p. 19, setembro 2000.

RAO, M. R.; MATHUVA, M. N. Legumes for improving maize yields and income in semi-arid Kenya. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 78, n. 2; p. 123-137, April 2000.

RIBEIRO, P. H.; SANTOS, J. V. V. M.; COSER, S. M.; NOGUEIRA, N. O.; MARTINS, C. A. S. Adubação verde, os estoques de carbono e nitrogênio e a qualidade da matéria orgânica do solo. **Revista Verde**, Mossoró, v. 6, n. 1, p. 43 – 50, janeiro/março 2011.

SCHIAVO, J. A.; CANELLAS, L. P.; MARTINS, M. A. Revegetação de cava de extração de argila com acácia mangium. I - atributos químicos do solo, ácidos fúlvicos e

húmicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 1153-1162, setembro/outubro 2007.

SILVA, T. O. da; MENEZES, R. S. C. Adubação orgânica da batata com esterco e, ou, *Crotalaria juncea*. II – Disponibilidade de N, P e K no solo ao longo do ciclo de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n. 1, p. 39-49, janeiro/fevereiro 2007.

SILVA NETO, S. P. da; GUIMARÃES, T. G. Evolução da cultura da banana no Brasil e no mundo. Planaltina, DF: **Embrapa Cerrados**, 2011. Disponível em: <<http://www.cpac.embrapa.br/noticias/artigosmidia/publicados/287/>>. Acesso em: 12 maio 2011.

SOUZA FILHO, A. P. S; DUTRA, S. Germinação de sementes de calopogônio (*Calopogonium mucunoides*). **Pasturas Tropicais**, Cali, v. 20, n. 3, p. 26-30, 1998.

SOUZA, J.O.; GRANGEIRO, L.C.; BEZERRA NETO, F.; BARROS JÚNIOR, A.P.B.; NEGREIROS, M.Z.; OLIVEIRA, C.J.; MEDEIROS, D.C.; AZEVÊDO, P.E. Produção de mudas de melancia em bandejas sob diferentes substratos. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 2, p. 153-157, 2003.

TEODORO, R. B; OLIVEIRA, F. L. de; SILVA, D. M. N. da; FÁVERO, C; QUARESMA, M. A. L. Leguminosas herbáceas perenes para utilização como coberturas permanentes de solo na Caatinga Mineira. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 2, p. 292-300, abril/junho, 2011.

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G.; FABIAN, A.J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.3, n. 3, p.421-428, março 2008.

ZOTARELLI, L. **Balanco de nitrogênio na rotação de culturas em sistema de plantio direto e convencional na região de Londrina – PR**, p. 134. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2000.

2. CAPÍTULO 1: PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA, NITROGÊNIO TOTAL E FORMAS DE NITROGÊNIO EM ÁREAS SUBMETIDAS À IRRIGAÇÃO E ADUBAÇÃO VERDE

RESUMO

Para a manutenção da alta produtividade agrícola de forma sustentável, várias técnicas vêm sendo utilizadas como, por exemplo, o uso de plantas de cobertura, a irrigação e a adubação verde. O uso de plantas de cobertura é uma prática agrícola importante para a proteção do solo. A irrigação supre a carência da precipitação pluvial, fornecendo água às plantas e tornando o ambiente mais adequado ao bom desenvolvimento da cultura. A adubação verde é uma prática conservacionista que visa melhorar a fertilidade do solo. Neste estudo, objetivou-se avaliar a produção de matéria seca de plantas de cobertura, o N-total e as formas de N-inorgânico em solos de bananal irrigados e submetidos à adubação verde. O estudo foi realizado em experimento instalado na fazenda experimental da Universidade Federal do Ceará (Pentecoste – CE). O delineamento experimental referente à produção de matéria seca foi em blocos casualizados, com parcelas subdivididas e quatro repetições. Nas parcelas foram avaliadas quatro lâminas de irrigação (50, 75, 100 e 125 % da evapotranspiração da cultura) e nas subparcelas foram avaliados os adubos verdes *Pueraria phaseoloides*, *Calopogonium muconoides* L, vegetação espontânea e resíduo da bananeira. Já para o N-total e N-inorgânico o delineamento experimental foi em blocos casualizados, com parcelas subdivididas e quatro repetições. Nas parcelas e subparcelas foram avaliados os mesmos tratamentos para a produção de matéria seca, nas subsubparcelas foram avaliados os teores de N-total e N-inorgânico nas camadas de solo (0-5 cm e 5-10 cm). Para a produção de matéria seca, não houve diferença significativa entre as lâminas de irrigação. Já entre as coberturas do solo, a testemunha apresentou maior média de produção de matéria seca por m² seguido pela *Pueraria phaseoloides*. A camada superficial do solo nas subparcelas adubadas com a leguminosa *Pueraria phaseoloides* e irrigadas com a menor lâmina de irrigação apresentaram maior teor de N-total ao longo do experimento. Os maiores teores de N-total e N-NO₃⁻ nas condições estudadas foi garantida por lâmina de irrigação que forneça até 75% da evapotranspiração da cultura e pela utilização da leguminosa cudzu tropical como adubo verde.

Palavras-Chave: Leguminosas. Fertilidade do solo. Fitomassa.

ABSTRACT

To the maintenance of high agricultural productivity in a sustainable manner, many techniques have been used, for example, the use of cover crops, irrigation and green manure. The use of cover crops is an important agricultural practice for the protection of soil. The irrigation makes up the lack of rainfall providing water to the plant making the most suitable environment for the good growing of the crop. The green manure is a conservation practice that aims to improve soil fertility. In this study was aimed to evaluate the dry matter production of the cover plants, the total-N and inorganic-N forms in banana plantation irrigated and submitted to the green manure. The study was conducted in an experiment installed at the experimental farm of the Federal University of Ceará (Pentecoste – CE). The experimental design on production of dry matter was randomized blocks with split plot and four replications. In the plots were evaluated four depths of irrigation (50, 75, 100 and 125 % of crop evapotranspiration) and in the subplots were evaluated the green manures *Pueraria phaseoloides*, *Calopogonium muconoides* L., spontaneous vegetation and residue of the banana tree. Already for the total-N, inorganic-N the experimental design was randomized blocks with sub sub divided plot and four replications. In the plots and subplots were evaluated the same treatments for the production of dry matter, in the subsubplots were evaluated the content of total-N and inorganic-N in the soil layers (0-5 cm e 5-10 cm). For the production of dry matter not have significant difference between the depths irrigation. Already between the soil cover the witness showed higher mean of production of the dry matter per m² followed by *Pueraria phaseoloides*. The layer superficial of soil in the subplots fertilized with the *Pueraria phaseoloides* and irrigated with the lower irrigation depths showed higher content of total-N throughout the experiment. The highest contents of total-N and N-NO₃⁻ in the studied conditions were promoted by irrigation depths that provide up to 75% of the crop evapotranspiration and by the use of tropical cudzu as green manure.

Keywords: Legume plants. Soil fertility. Fitomass.

2.1 INTRODUÇÃO

O nitrogênio (N) é um elemento essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Normalmente, é o nutriente de maior abundância no tecido vegetal. Embora esteja presente na camada arável do solo, em alguns casos em quantidades relativamente elevadas, sua baixa disponibilidade e a grande demanda pelos vegetais, faz com que seja um dos nutrientes mais limitantes à produtividade. Essa baixa disponibilidade ocorre porque 95% ou mais do N do solo encontra-se na forma orgânica, sendo somente uma pequena parte mineralizada pelos microrganismos durante o ciclo de determinada cultura (SEVERINO *et al.*, 2001).

O N apresenta efeito considerável no rendimento de grãos e frutos, principalmente quando os demais elementos encontram-se disponíveis em quantidades adequadas e as condições climáticas são favoráveis (ERNANI; NASCIMENTO; FREITAS, 1997). A técnica de manejo do solo que tem sido mais utilizada para aumentar o teor de N no solo é a adubação mineral.

O uso de fertilizantes minerais proporciona aumento da produtividade e rentabilidade das culturas, mas por outro lado aumenta também os custos de produção (SEVERINO *et al.*, 2006). Além disso, o uso de adubos nitrogenados em solos tropicais tem ainda um custo ecológico adicional. Cerca de 50% dos adubos nitrogenados aplicados ao solo são perdidos, principalmente por lixiviação; o N perdido nesse processo é altamente poluente e, uma vez carregado para o lençol freático, provoca a contaminação dos aquíferos subterrâneos, rios e lagos (PELEGRIN *et al.*, 2009). Em face de tal cenário, mercados e movimentos que focam a sustentabilidade na agricultura incentivam a adubação verde como uma técnica alternativa de adubação, principalmente nitrogenada, visando à conservação dos recursos naturais, a manutenção da qualidade do solo nos sistemas de produção e a redução dos custos.

A entrada de N no solo ocorre por meio de descargas elétricas, aplicação de fertilizantes nitrogenados, adição de sais de amônio e nitrato por meio da precipitação pluvial, pela fixação biológica do N atmosférico, seja pela atividade de organismos de vida livre no solo ou pela associação simbiótica destes com raízes de leguminosas e por meio da aplicação de resíduos orgânicos de origem vegetal e animal (MALAVOLTA; MORAES, 2006). O aporte de N por meio da aplicação de resíduos orgânicos vegetais, caracterizando a adubação verde, tem crescido nos últimos tempos devido,

principalmente, ao aspecto econômico e sustentável dessa prática, sendo a mesma considerada uma prática vegetativa de conservação do solo (BARRADAS, 2010).

A disponibilidade de N é uma característica agronômica de grande interesse nos adubos verdes. O maior aporte de N por meio desses adubos pode reduzir o uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos. A disponibilidade de N é variável entre as espécies usadas como adubo verde, sendo as leguminosas as que geralmente apresentam maiores quantidades, devido ao fato de apresentarem maior capacidade de fixação biológica do N atmosférico (TEODORO *et al.*, 2011a). Além disso, as leguminosas geralmente apresentam sistema radicular vigoroso e ramificado que auxilia na reciclagem de nutrientes das camadas mais profundas do solo. Essas características fazem com que as espécies da família leguminosa sejam as mais utilizadas na adubação verde (MATEUS; WUTKE, 2006).

Existem várias formas de utilização de leguminosas como fonte de N para o solo (CALEGARI, 2000). A mais comum é a sua utilização na forma de pré-cultivo, em que o adubo verde precede a cultura principal que se beneficia posteriormente com a mineralização do N (CASTRO *et al.*, 2004). Porém, em regiões de clima tropical essa forma de manejo pode não ser tão adequada devido à rápida mineralização do N que pode não coincidir com a época de maior demanda da cultura principal, ocasionando perdas de N no sistema. Uma forma alternativa de manejo é o consórcio dos adubos verdes com a cultura principal. Esse manejo possibilita a pronta disponibilidade de N para a cultura de interesse no momento do corte da leguminosa (CASTRO *et al.*, 2004).

Uma propriedade agronômica utilizada para avaliar os benefícios dos adubos verdes é a produção de matéria seca (TEODORO *et al.*, 2011b), uma vez que essa propriedade está diretamente relacionada com o aporte de nutrientes e com a cobertura do solo que serve como proteção para o mesmo. Espera-se que quanto maior a produção de matéria seca, maior seja a proteção do solo contra as intempéries ambientais, evitando problemas como a erosão superficial causada por chuvas e/ou ventos fortes. Ao longo do tempo, a matéria seca vegetal que recobre o solo se decompõe e libera nutrientes, principalmente N; sendo uma estratégia para aumentar a sustentabilidade nos agroecossistemas.

Os rendimentos de matéria seca variam em função de alguns fatores, tais como genótipo, época de semeadura, clima, solo e as práticas de manejo (TEODORO *et al.*, 2011b). Pesquisas em solos de regiões de clima tropical sugerem a necessidade de atingir alta produção de matéria seca, pelo fato da decomposição do material

depositado na superfície ser mais elevada nessas regiões. Isso acontece devido à maior ação dos microrganismos decompositores (ALVARENGA *et al.*, 2001) que transformam os elementos orgânicos em minerais.

Poucos estudos têm demonstrado o efeito da taxa de decomposição de material vegetal e disponibilidade de nutrientes nas regiões clima semiárido (CHEN; STARK, 2000), principalmente utilizando-se espécies vegetais como plantas de cobertura consorciadas a fruteiras (MENDES *et al.*, 2011). Mendes *et al.* (2011) estudando o processo de decomposição e liberação de nutrientes de coquetéis vegetais no cultivo de mangueiras no semiárido brasileiro, observaram que entre 116 e 231 dias após o início do experimento, 50% da matéria seca inicial dos coquetéis vegetais foi decomposta. Depois desse período, os autores verificaram uma fase de decomposição mais lenta, na qual a estimativa de tempo para que 95% de matéria seca fosse decomposta variou de 750 a 1000 dias após a deposição do material vegetal.

De acordo com Noble *et al.* (1996) nos ambientes semiáridos as características químicas e físicas do solo podem influenciar a abundância de microrganismos que são necessários para a decomposição da serapilheira. De modo geral, o clima controla o processo de decomposição em escala regional, enquanto a composição química do solo e das plantas domina o processo em escala local (BERG, 2000). O suprimento e a ciclagem do N dependem, em grande parte, da decomposição biológica realizada por microrganismos. O N, durante o seu ciclo, sofre várias transformações biogeoquímicas no sistema solo-planta. O ciclo do nutriente inicia-se quando o N gasoso atmosférico é reduzido no solo ou na água a amônio por meio da fixação bacteriana (MALAVOLTA; MORAES, 2006). O amônio assim formado, ou mesmo aquele produzido por meio da decomposição de compostos nitrogenados orgânicos, pode ser assimilado para a síntese celular ou oxidado a nitrato pela atividade de bactérias nitrificantes. O nitrato pode ser convertido a óxido nitroso e nitrogênio gasoso, sendo liberado para a atmosfera por meio do processo de desnitrificação (CARVALHO; ZABOT, 2012).

O processo de conversão do N orgânico em N mineral é denominado mineralização, sendo o mesmo realizado pelos microrganismos presentes no solo (CANTARELLA, 2007). Devido à transformação do N orgânico em formas inorgânicas simples, o processo de mineralização tem papel significativo no ciclo do nitrogênio (MALAVOLTA; MORAES, 2006). Algumas condições edafoclimáticas

podem interferir na quantidade de N mineralizado, tais como: relação C/N do material orgânico, temperatura e pH.

O N inorgânico pode ser encontrado no solo em duas principais formas: amoniacal (N-NH₄⁺) e nítrica (N-NO₃⁻). A presença dessas formas em quantidades adequadas no solo é importante, pois as mesmas são absorvidas pelos vegetais. Porém, em excesso as mesmas podem causar impactos negativos no solo e nas plantas. Segundo Mason e Williams (1980), o uso de fertilizantes sintéticos com N na forma amoniacal por períodos prolongados pode acidificar o solo, sendo prejudicial para o desenvolvimento da cultura. Além dos riscos de acidificação, durante o processo de nitrificação ocorre a formação do ânion nitrato, forma móvel no solo, suscetível a lixiviação em climas úmidos, que pode ser absorvido em grandes quantidades pelas plantas contaminando alimentos ou pode ser lixiviado, causando grandes preocupações quanto à contaminação de corpos de água subterrânea ou superficial (GOMES *et al.*, 2008). O nitrato (NO₃⁻) e o amônio (NH₄⁺) ocorrem naturalmente em solos e águas, como produtos da mineralização do material orgânico.

O processo de mineralização é mediado por bactérias amonificantes que transformam o N orgânico em N amoniacal. Posteriormente, as bactérias nitrificantes transformam o N amoniacal em N nítrico. Por isso, o N é encontrado, principalmente, nas formas de nitrato e amônio na solução do solo. A mineralização do N orgânico envolve uma série de etapas e reações realizadas por microrganismos, resultando na formação de nitrato. Smith e Sharpley (1990), ao estudar a mineralização em sete tipos diferentes de restos culturais, observaram que a taxa de mineralização pode variar dependendo do tipo de resíduo.

As formas de N presentes no solo são influenciadas pelo sistema de manejo adotado (D'ANDRÉIA *et al.*, 2004). Entre os fatores que influenciam a proporção dessas formas está a irrigação, uma vez que seu uso inadequado pode promover alagamento temporário, limitando a disponibilidade de N-NO₃⁻. Em solos onde não há restrição de oxigênio, o N-NO₃⁻ é a principal forma de N mineral (SANGOI *et al.*, 2003). Maia *et al.* (2008) observaram que o N-NO₃⁻ é predominante nas camadas superficiais do solo, uma vez que as condições de nitrificação são melhores. Os mesmos autores também observaram que, na medida em que aumenta a profundidade e diminui o teor de oxigênio, as formas de N-NH₄⁺ predominam.

Além do processo de mineralização, existe também a imobilização que é um fenômeno oposto à mineralização. Na imobilização os microrganismos utilizam o N

que estaria disponível às plantas. A microbiota do solo assimila as formas inorgânicas de N para formar os constituintes orgânicos de suas células e tecidos (ALFAIA, 2006). Quando os microrganismos do solo demandam altas quantidades de N, provocam maior imobilização do nutriente em suas células, reduzindo os estoques do elemento no solo. Essa imobilização pela microbiota do solo é um componente importante do N potencialmente mineralizável, uma vez que ela é temporária; à medida que ocorre a morte dos microrganismos, há mineralização destes pelo restante da biomassa, liberando os nutrientes imobilizados, e quanto maior o conteúdo de N na biomassa microbiana, mais rápida será a sua reciclagem (ANDERSON, 2003).

A mineralização e a imobilização são processos que ocorrem simultaneamente no solo, sendo dependentes da relação C/N do material orgânico em decomposição. Quando a relação C/N é maior do que 30:1 a imobilização é favorecida, quando esta relação é menor do que 20:1 a mineralização é favorecida e quando a relação está na faixa de 20 a 30:1, os dois processos ocorrem simultaneamente (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). No processo de decomposição dos restos culturais os microrganismos necessitam de N. Se os restos culturais não forem ricos nesse nutriente eles irão utilizar o N inorgânico do solo, podendo causar deficiência temporária do mesmo. Quando a imobilização do N é maior que a mineralização, as plantas podem apresentar deficiência temporária do nutriente, caso não seja realizada adubação nitrogenada.

O N possui um ciclo complexo e suas principais formas minerais (N-NH_4^+ e N-NO_3^-) são altamente solúveis, facilmente perdidas por lixiviação, além de sujeitas a transformações para formas gasosas. Em sistemas irrigados de cultivo, o predomínio de N-NO_3^- na solução do solo pode favorecer perdas de N por lixiviação e/ou escoamento superficial. Isso fortalece a necessidade de utilizar lâminas adequadas de irrigação, evitando não só o desperdício de água, mas também de nitrogênio.

Com base no que foi exposto, o presente estudo foi realizado para comprovar as seguintes hipóteses: *i*) a adubação verde é favorecida quando se utilizam espécies que produzem biomassa de fácil decomposição e em quantidade elevada; *ii*) a lâmina de irrigação aumenta a produção de matéria seca e influencia nas formas de N no solo; *iii*) a camada superficial do solo apresenta maior quantidade de N do que as camadas inferiores.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Localização da área experimental

O estudo foi desenvolvido em um experimento instalado em 2010 e que tem sido conduzido na fazenda experimental Vale do Curú, pertencente à Universidade Federal do Ceará, localizada no município de Pentecoste - CE, distante a 100 km da capital Fortaleza.

O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é BSw'h', semiárido com chuvas irregulares, com precipitação média anual de 797,0 mm concentrada nos meses de janeiro a abril, temperatura média anual máxima e mínima de 33,4°C, e 22,4°C, respectivamente e umidade relativa média do ar de 80% (ARAÚJO *et al.*, 2012). O solo da área experimental foi classificado como Neossolo Flúvico (EMBRAPA, 2006) e sua caracterização físico-química é apresentada na Tabela 1. Essa caracterização foi realizada em amostras de solo coletadas antes da instalação do experimento.

Tabela 1- Atributos químicos e físicos de duas camadas do solo da área experimental

Atributos	Profundidade (cm)	
	0 – 20	20 – 40
pH (H ₂ O)	7,0	7,3
MO (g kg ⁻¹)	13,9	12,8
P (mg kg ⁻¹)	27,0	21,0
CE (dS m ⁻¹)	0,5	0,3
Ca ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	8,5	9,7
Mg ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	2,4	2,0
Na ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	0,4	0,4
K ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	0,3	0,2
H ⁺ + Al ³⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	1,0	1,0
Al ³⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	0,1	0,1
C (g kg ⁻¹)	8,0	7,4
N (g kg ⁻¹)	0,8	0,8
S (cmol _c kg ⁻¹)	11,6	12,3
CTC (cmol _c kg ⁻¹)	12,6	13,3
V (%)	92,0	92,0
PST	3,0	3,0
Areia Grossa (g kg ⁻¹)	24,0	26,0
Areia Fina (g kg ⁻¹)	403,0	414,0
Silte (g kg ⁻¹)	399,0	410,0
Argila (g kg ⁻¹)	174,0	150,0
Umidade - 0,033 Mpa (g 100g ⁻¹)	23,4	21,8
Umidade - 1,5 Mpa (g 100g ⁻¹)	9,7	8,9
Classe textural	Franco	Franco

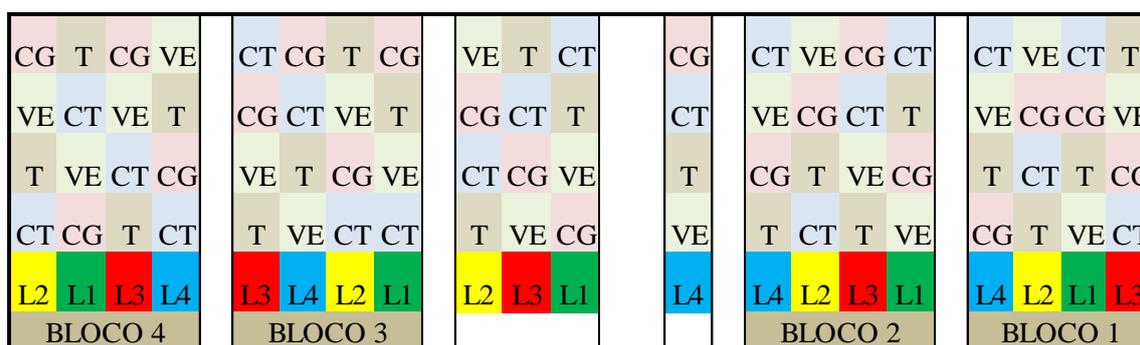
Fonte: Barbosa, 2012

2.2.2 Delineamento experimental

Para avaliações referentes à dinâmica e a forma do N no solo o delineamento experimental foi em blocos casualizados em parcelas subdivididas, com quatro repetições. Os tratamentos que foram avaliados nas parcelas foram quatro lâminas de irrigação (50, 75, 100 e 125 % da evapotranspiração da cultura - ETC) (FIGURA 1). Nas subparcelas foram avaliados os seguintes tratamentos: testemunha (manejo convencional onde o material de cobertura foi o resíduo da própria bananeira), cobertura do solo com vegetação espontânea (VE), cobertura do solo com *Pueraria phaseoloides* (CT) e cobertura do solo com *Calopogonium muconoides* L (CG); totalizando 64 unidades experimentais. Nas subsubparcelas foram avaliadas duas profundidades das camadas de solo (0-5 cm e 5-10 cm). Já para avaliações referentes à produção de matéria seca o delineamento experimental foi em parcelas subdivididas com quatro repetições. Nas parcelas foram avaliadas as quatro lâminas de irrigação e nas subparcelas as quatro diferentes coberturas do solo.

As parcelas (12 x 40 m) foram constituídas por quatro fileiras de bananeira cv Prata Anã, plantadas em sistema de fileiras simples com espaçamento de 3 x 2 m, sendo constituídas por 80 plantas. Cada parcela foi dividida em quatro subparcelas (12 x 10 m) com vinte plantas, sendo as seis plantas centrais consideradas como úteis. A disposição dos tratamentos com lâminas de irrigação e consórcios está apresentada na Figura 1.

Figura 1- Croqui da área experimental



Fonte: Barbosa, 2012

L1- 50% da ETC
L2- 75% da ETC
L3- 100% da ETC
L4- 125% da ETC

CG - Calopogônio
CT - Cudzu Tropical
T - Convencional
VE - Vegetação Espontânea

2.2.3 Condução da área experimental

Detalhes da condução da área experimental desde sua instalação em 2010 estão descritos em Barbosa (2012). As avaliações referentes ao presente estudo foram realizadas em julho de 2012, quando já havia sido realizada a primeira colheita no bananal e três cortes nos adubos verdes. Após o corte, o resíduo vegetal foi depositado nas linhas de plantio da bananeira sem ser incorporado.

2.2.4 Coleta das amostras

A coleta do material vegetal para avaliações referentes à produção de matéria seca foi feita aleatoriamente dentro de cada subparcela, utilizando uma armação de PVC em forma de quadrado com uma área de aproximadamente 0,25 m². A vegetação verde presente na área conhecida (0,25 m²) foi cortada, acondicionada em sacos de papel, identificada e encaminhada ao laboratório onde foi obtido o seu peso úmido. Posteriormente, foram colocadas em estufa com fluxo de ar à 65°C até atingirem peso constante. Após saírem da estufa as amostras foram pesadas, obtendo-se assim, a matéria seca vegetal.

Para avaliações referentes à dinâmica do nitrogênio foram coletadas amostras de solo em seis épocas distintas baseadas no corte dos adubos verdes: 1) antes do corte; 2) sete dias após o corte; 3) vinte e dois dias após o corte; 4) trinta e sete dias após o corte; 5) cinquenta e seis dias após o corte e 6) setenta dias após o corte. As amostras foram coletadas em duas profundidades (0 – 5 cm e 5 – 10 cm), direcionando a coleta nas linhas de plantio das bananeiras, local onde o resíduo vegetal foi depositado, aproximadamente a 20 cm de distância do pseudocaule.

2.2.5 Procedimentos analíticos

O N total do solo foi determinado de acordo com o método descrito em EMBRAPA (1997). O método é dividido em duas etapas: digestão sulfúrica e destilação. Na etapa da digestão, empregou-se uma mistura digestora composta por Na₂SO₄, CuSO₄ e H₂SO₄ a amostra de solo, a qual em seguida foi colocada em bloco digestor sob temperatura de 350°C.

A etapa da digestão feita no destilador com arraste de vapor. O produto da destilação foi titulado com solução de H₂SO₄ até a viragem de azul ou verde para a coloração rósea.

O nitrato (N-NO₃⁻) e o amônio (N-NH₄⁺) presentes no solo foram determinados de acordo com o método descrito em EMBRAPA (2009). A extração dessas formas de N mineral foi feita utilizando solução de KCl. A determinação do N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺ foi feita por meio de destilação das soluções contendo essas formas de nitrogênio mineral. O produto da destilação foi titulado com H₂SO₄ até a mudança da coloração de azul ou verde para róseo.

2.2.6 Análises Estatísticas

As variáveis estudadas foram analisadas estatisticamente por meio do emprego do programa Assistat onde foi feita análise de variância pelo teste F e em seguida foi aplicado o teste de Tukey para a comparação de médias.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Produção de matéria seca vegetal

A Tabela 2 apresenta o resumo da análise de variância para a produção de matéria seca do presente experimento, podendo-se constatar efeito significativo somente para a variável adubo verde.

Tabela 2 – Resumo da análise de variância para a produção de biomassa vegetal

Tabela de Variância					
FV	GL	SQ	QM	F	
Tratamento - a (Ta)	3	41,82958	13,94319	0,3694 ns	
Resíduos - a	12	452,93611	37,74468		
Parcelas	15	494,76569			
Tratamento - b (Tb)	3	10468,16213	3489,38738	115,2957 **	
Interação Ta x Tb	9	103,09723	11,45525	0,3785 ns	
Resíduos - b	36	1089,52822	30,26467		
Total	63	12155,55326			

FV: fontes de variação; GL: grau de liberdade; SQ: soma de quadrado; QM: quadrado médio; F: estatística do teste F. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0.01$). ns: não significativo ($p \geq 0.05$). Ta: lâminas de irrigação; Tb: adubos verdes.

Ao se avaliar as médias de produção de matéria seca das espécies utilizadas como cobertura do solo nas lâminas de irrigação, observa-se que não houve diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade. Os resultados da produção de matéria seca nos tratamentos encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 - Produção média de matéria seca (g m^{-2}) em função das lâminas de irrigação e das espécies utilizadas como cobertura do solo.

Cobertura do solo	Lâminas de irrigação				Média
	1	2	3	4	
	-----g m ⁻² -----				
CT	12,8	11,2	10,2	10,1	11,1 b
CG	2,6	2,5	2,5	4,3	3,0 c
VE	9,2	8,1	7,1	6,3	7,7 bc
RB	37,4	32,4	35,3	38,96	36,0 a
Média	15,5 ^{ns}	13,6 ^{ns}	13,8 ^{ns}	14,9 ^{ns}	

CT: consórcio das bananeiras com *Pueraria phaseoloides*; CG: consórcio das bananeiras com *Calopogonium muconoides* L; VE: consórcio das bananeiras com vegetação espontânea; RB: resíduo das bananeiras; 1, 2, 3 e 4 lâmina de irrigação com 50, 75, 100 e 125% da evapotranspiração da cultura. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de 1% de probabilidade. ns: não significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Silva *et al.* (2007), ao avaliar a influência de lâminas de irrigação na produção de matéria seca da grama-esmeralda, observaram que não houve diferença estatística entre as produções de matéria seca ao longo do período experimental quando foram aplicadas lâminas correspondentes a 40% e 60% da evapotranspiração de referência. A diferença na produção de matéria seca do presente estudo poderia ter sido observada se a comparação fosse entre áreas irrigadas e não irrigadas. Segundo Bona *et al.* (2006) geralmente áreas irrigadas apresentam maior produção de biomassa vegetal quando comparadas com áreas não irrigadas.

Quanto à produção de matéria seca das espécies utilizadas como cobertura do solo, o tratamento com resíduo da bananeira apresentou maiores médias ao nível de 1% de probabilidade, seguido pelos tratamentos com *Pueraria phaseoloides*, vegetação espontânea e *Calopogonium muconoides* L. A bananeira possui o maior aporte, maior densidade de plantio e maior número de folhas quando comparada com o das outras espécies avaliadas neste estudo, o que certamente contribuiu para a maior produção de matéria seca por metro quadrado no tratamento onde se aplicou o resíduo da bananeira.

O resíduo das bananeiras representa boa proteção ao solo, pois produz elevada quantidade de biomassa. Embora esse tratamento tenha apresentado maior produção de matéria seca, garantindo maior cobertura do solo, do ponto de vista da ciclagem e liberação de nutrientes ele pode não ser tão eficiente. Supõe-se que a velocidade de decomposição desse resíduo seja menor devido à maior relação C/N do mesmo.

Não houve diferença estatística significativa entre a leguminosa *Pueraria phaseoloides* e a vegetação espontânea, na qual há predomínio da gramínea tropical capim-colonião (*Panicum maximum* Jacq). Essas espécies apresentaram médias maiores do que a da leguminosa *Calopogonium muconoides*. Esse resultado corrobora com os de Espíndola *et al.* (2006b) que, avaliando bananeiras consorciadas com leguminosas herbáceas perenes utilizadas como coberturas vivas, observaram que a leguminosa *Pueraria phaseoloides* e a vegetação espontânea com predomínio de *Panicum maximum* Jacq, destacaram-se quanto a produção de matéria seca da parte aérea, apresentando valores superiores às demais leguminosas avaliadas.

Comparando as leguminosas *Pueraria phaseoloides* e *Calopogonium muconoides* L, observa-se que a *Pueraria phaseoloides* proporcionou maior cobertura do solo, uma vez que apresentou maior produção de biomassa vegetal. Resultado semelhante foi encontrado por Santos (2008) que, avaliando o crescimento inicial de

leguminosas forrageiras tropicais inoculadas com bactérias fixadoras de N, observou maior biomassa da parte aérea para a *Pueraria phaseoloides* quando comparado com o desmódio (*Desmodium heterocarpon*) e *Calopogonium muconoides* L.

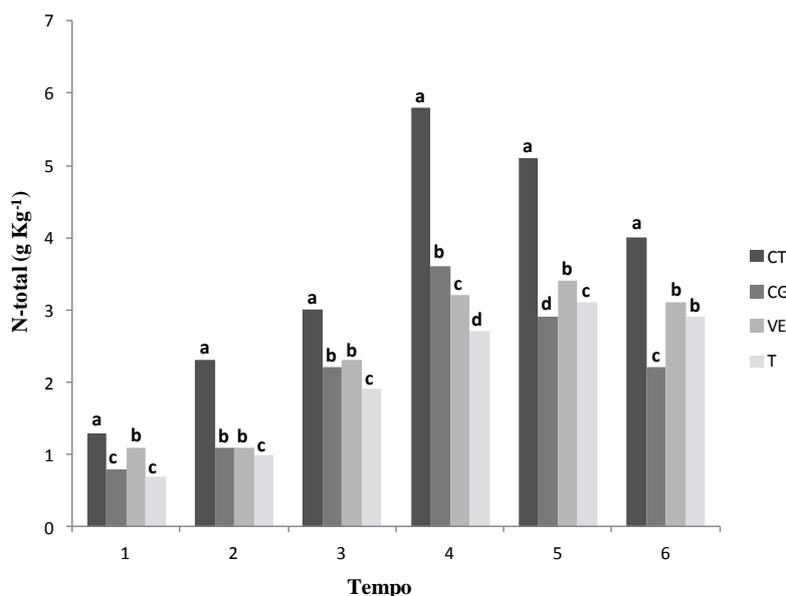
Conforme já explicado anteriormente para a maior produção de matéria seca no tratamento com resíduo da bananeira, a *Pueraria phaseoloides* apresenta porte mais baixo e densidade de plantio menor do que a da bananeira. Isso contribuiu com a menor produção de matéria seca por metro quadrado no tratamento com *Pueraria phaseoloides* quando comparado com o tratamento com resíduo da bananeira. Perin, Guerra e Teixeira (2004), avaliando a cobertura do solo e o estoque de nutrientes de duas leguminosas perenes considerando espaçamentos e densidade de plantio, relataram que a *Pueraria phaseoloides* apresentou menor produção de biomassa quando cultivado com menor densidade de plantio.

Entre as espécies avaliadas, o *Calopogonium muconoides* L foi a que apresentou menor produção de matéria seca por metro quadrado. Resultado semelhante foi encontrado por Guerra *et al.* (2007) avaliando o desempenho de leguminosas tropicais perenes como plantas de cobertura do solo. Os autores observaram que a leguminosa *Calopogonium muconoides* L apresentou menor produção de matéria seca entre as espécies avaliadas. No presente estudo essa espécie apresentou sensibilidade ao corte, possuindo baixa taxa de rebrota após sucessivos cortes. Certamente isso influenciou negativamente a produção de biomassa.

2.3.2 Nitrogênio total do solo

Na Figura 2 são apresentados os resultados para os teores de nitrogênio total (N-total) no solo ao longo de seis épocas de coleta.

Figura 2 - Teores médios de N-total no solo (g kg^{-1}) ao longo do tempo em função dos adubos verdes.



Houve diferença no teor de N-total ao longo do tempo e isso pode ser uma consequência da aplicação de resíduos vegetais com variadas composições. As subparcelas que receberam as leguminosas *Pueraria phaseoloides* e *Calopogonium muconoides* L apresentaram maior teor de N-total no solo aos 37 dias após o corte (Tempo 4). Já as subparcelas que receberam adubação pela vegetação espontânea e resíduos das bananeiras, apresentaram maior teor de N-total no solo aos 56 dias após o corte (Tempo 5). O teor de N nos resíduos vegetais está presente na Tabela 4.

Tabela 4 – Concentração de N (g m^{-2}) nos resíduos vegetais utilizados como adubo verde

Adubo verde	N
	g m^{-2}
CT	24,2 a
CG	12,8 b
VE	12,3 c
T	11,7 d

CT: consórcio das bananeiras com *Pueraria phaseoloides*; CG: consórcio das bananeiras com *Calopogonium muconoides* L; VE: consórcio das bananeiras com vegetação espontânea; T: resíduo das bananeiras. Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem entre si ao nível de 1% de probabilidade de acordo com teste F e de Tukey.

São vários os fatores que influenciam na velocidade de decomposição dos resíduos vegetais, sendo a composição do resíduo um dos principais. A vegetação espontânea na área experimental foi composta, em sua maioria, por gramíneas (*Panicum maximum* Jacq). Gramíneas e leguminosas apresentam composições químicas distintas e isso pode refletir na velocidade de decomposição. Segundo Ambrosano (2001) as leguminosas são ricas em fósforo, potássio e cálcio, em comparação com as gramíneas, além de possuírem uma relação C/N menor. Já as gramíneas apresentam relação C/N mais elevada e isso resulta em decomposição mais lenta do resíduo vegetal.

O resíduo da bananeira também apresenta relação C/N mais elevada do que das leguminosas. Além da relação C/N outros fatores influenciam no processo de decomposição dos resíduos vegetais tais como: teores de celulose, hemicelulose, lignina e polifenóis e às relações entre constituintes como lignina/N, polifenóis/N e lignina + polifenóis/N (RHEINHEIMER, ANGHINONI, KAMINSKI, 2000; AITA, GIACOMINI, 2003; ESPÍNDOLA *et al.*, 2006a; CARVALHO *et al.*, 2008). Monteiro *et al.* (2002), estudando a dinâmica de decomposição e mineralização de N em função da qualidade de resíduos de gramíneas e leguminosas forrageiras observaram que a leguminosa *Arachis pintoi* apresentou menores relações lignina/N e polifenóis/N do que a gramínea *Brachiaria humidicola* e conseqüentemente maiores taxas de decomposição e mineralização líquida de N, assim como de nitrificação.

Para o presente estudo o maior teor de N total foi observado aos 37 e 56 dias após o corte, sendo parte desse N oriundo dos adubos verdes. Salmi G., Salmi A. e Abboud (2006), observaram que aos 56 dias mais da metade do N presente na biomassa vegetal remanescente do adubo verde tinha sido liberado para o solo.

As subparcelas que receberam aplicação da leguminosa *Pueraria phaseoloides* apresentaram maiores médias de disponibilidade de N. Isso pode ser explicado pelo fato dessa leguminosa apresentar, como uma de suas características, elevada capacidade de fixação de N nos seus tecidos. Espindola *et al.* (2006b) avaliando bananeiras consorciadas com leguminosas herbáceas perenes utilizadas como coberturas vivas, observaram que as áreas com *Pueraria phaseoloides* apresentaram maior quantidade de N fixado, quando comparadas com áreas com outras leguminosas. Perin, Guerra e Teixeira (2004) também constataram maiores teores de N para áreas com *Pueraria phaseoloides* quando comparado com outras leguminosas. Nos tempos 1, 2, 3 e 6 houve efeito significativo para a interação entre as lâminas de irrigação e os adubos

verdes utilizados (TABELA 5). Para os tempos 4 e 5 essa interação não foi significativa (TABELA 5).

Na Tabela 6 são apresentadas as médias de N-total para a interação entre lâminas de irrigação e adubos verdes. Nas subparcelas com a leguminosa *Pueraria phaseoloides* foram observadas as maiores médias de N-total em todas as lâminas de irrigação avaliadas nos referidos tempos.

Tabela 5 – Resumo da análise de variância para o N-total nos diferentes períodos de coleta

Tabela de Variância									
Tempo 1					Tempo 4				
FV	GL	SQ	QM	F	FV	GL	SQ	QM	F
Ta	3	0,02344	0,00781	0,5725 ns	Ta	3	0,41773	0,13924	19,3032 **
Tb	3	7,76031	2,58677	178,6547 **	Tb	3	178,23648	59,41216	3170,1163 **
Tc	1	17,55281	17,55281	2478,0441 **	Tc	1	23,20508	23,20508	2613,1232 **
Ta x Tb	9	0,03094	0,00344	0,2374 *	Ta x Tb	9	0,34508	0,03834	2,0459 ns
Ta x T c	3	0,01594	0,00531	0,7500 ns	Ta x T c	3	0,01961	0,00654	0,7361 ns
Tb x Tc	3	0,68281	0,2276	32,1324 **	Tb x Tc	3	0,94461	0,31487	35,4575 **
TaTbTc	9	0,01844	0,00205	0,2892 ns	TaTbTc	9	0,24945	0,02772	3,1212**
Tempo 2					Tempo 5				
Ta	3	0,03437	0,01146	0,8835 ns	Ta	3	0,88313	0,29438	17,3908 **
Tb	3	34,54063	11,51354	927,5245 **	Tb	3	89,56688	29,85563	1570,4877 **
Tc	1	16,53125	16,53125	1090,7216 **	Tc	1	13,78125	13,78125	1876,5957 **
Ta x Tb	9	0,5775	0,06417	5,1692 **	Ta x Tb	9	0,13125	0,01458	0,7671 ns
Ta x T c	3	0,05562	0,01854	1,2234 ns	Ta x T c	3	0,01938	0,00646	0,8794 ns
Tb x Tc	3	0,43687	0,14562	9,6082 **	Tb x Tc	3	0,07937	0,02646	3,6028 *
TaTbTc	9	0,10875	0,01208	0,7973 ns	TaTbTc	9	0,1075	0,01194	1,6265 ns
Tempo 3					Tempo 6				
Ta	3	0,18398	0,06133	1,3091 ns	Ta	3	2,20398	0,73466	65,7599 **
Tb	3	20,18586	6,72862	418,3146 **	Tb	3	54,9961	18,33154	812,5406 **
Tc	1	32,3007	32,3007	1935,0187 **	Tc	1	14,11133	14,11133	2325,6438 **
Ta x Tb	9	0,61383	0,0682	4,2402 **	Ta x Tb	9	0,53945	0,05994	2,6568 *
Ta x T c	3	0,06961	0,0232	1,3900 ns	Ta x T c	3	0,02336	0,00779	1,2833 ns
Tb x Tc	3	1,28273	0,42758	25,6147 **	Tb x Tc	3	0,17898	0,05966	9,8326 **
TaTbTc	9	0,2607	0,02897	1,7353 ns	TaTbTc	9	0,02008	0,00223	0,3677 ns

FV: fontes de variação; GL: grau de liberdade; SQ: soma de quadrado; QM: quadrado médio; F: estatística do teste F. Tempo 1, 2, 3, 4, 5 e 6: coleta antes do corte dos adubos verdes e aos 7, 22, 37, 56 e 70 dias após o corte, respectivamente. Ta: tratamento a (lâminas de irrigação); Tb: tratamento b (adubos verdes); Tc: tratamento c (profundidade). Ta x Tb: interação tratamento a e b; Ta x Tc: interação tratamento a e c; Tb x Tc: interação tratamento b e c; TaTbTc: interação tratamento a, b e c. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0.01$). * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0.05$). ns: não significativo ($p \geq 0.05$).

Tabela 6 – Teores médios de N-total no solo (g kg^{-1}) em função da interação entre lâminas de irrigação e adubos verdes

Tempo	Lâmina de irrigação	Adubo verde			
		CT	CG	VE	T
-----g Kg ⁻¹ -----					
1	1	1,31 aA	0,81 aC	1,13 aB	0,74 aC
	2	1,34 aA	0,80 aC	1,08 aB	0,70 aC
	3	1,33 aA	0,78 aC	1,10 aB	0,69 aC
	4	1,31 aA	0,74 aC	1,08 aB	0,71 aC
2	1	2,11 bA	1,16 aB	1,14 aB	1,16 aB
	2	2,36 aA	1,13 aB	1,10 aB	1,01 bB
	3	2,33 aA	1,10 aB	1,08 aB	0,99bB
	4	2,31 aA	1,15 aB	1,06 aB	0,91 bC
3	1	3,19 aA	2,20 aB	2,20 aB	1,91 aC
	2	3,00 abA	2,25 aB	2,29 aB	1,89 aC
	3	2,88 bA	2,29 aB	2,39 aB	1,99 aC
	4	2,93 bA	2,13 aB	2,23 aB	1,88 aC
6	1	4,35 aA	2,35 aC	2,75 aB	2,84 aB
	2	3,99 bA	2,33 aC	2,79 aB	2,76 abB
	3	3,88 bcA	2,21 abC	2,68 abB	2,65 bcB
	4	3,76 cA	2,09 bC	2,53 bB	2,50 cB

Tempo 1, 2, 3, e 6: coleta antes do corte dos adubos verdes e aos 7, 22, e 70 dias após o corte, respectivamente. Lâminas 1, 2, 3 e 4: lâminas de irrigação com 50, 75, 100 e 125 % da ETC. CT: consórcio das bananeiras com *Pueraria phaseoloides*; CG: consórcio das bananeiras com *Calopogonium muconoides* L; VE: consórcio das bananeiras com vegetação espontânea; T: testemunha (resíduo das bananeiras); Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e da mesma letra maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade de acordo com teste F e de Tukey.

No tempo 1, antes do corte das plantas utilizadas como adubo verde, o N-total presente no solo foi remanescente dos cortes e aportes anteriores. A leguminosa *Calopogonium muconoides* e o resíduo da bananeira apresentaram os menores teores. Isso pode ter sido causado pelo menor aporte de material vegetal pelo *Calopogonium muconoides*, uma vez que o mesmo se mostrou sensível aos cortes apresentando desenvolvimento mais deficiente, e pela maior relação C/N do resíduo da bananeira em relação aos demais.

No tempo 2, sete dias após o corte dos adubos verdes, observa-se que os maiores valores de N-total em todas as lâminas avaliadas encontra-se nas subparcelas que receberam aporte da leguminosa *Pueraria phaseoloides*. No tempo 6, setenta dias após o corte dos adubos verdes, a leguminosa *Calopogonium muconoides* L apresentou as menores médias de N-total em todas as lâminas. Isso pode ter sido consequência do menor aporte de material vegetal e da rápida decomposição do material aportado, tendo em vista a baixa relação C/N desse adubo verde.

Analisando o efeito isolado da irrigação no N-total do solo, é possível verificar que houve influência do manejo da irrigação após o corte e deposição dos adubos verdes sobre o solo (TABELAS 5 e 7).

Tabela 7 – Teores médios de N-total no solo (g kg^{-1}) ao longo do tempo em função das lâminas de irrigação.

Lâminas	Tempo					
	1	2	3	4	5	6
	----- g kg^{-1} -----					
1	1,0 a	1,4 a	2,4 a	3,9 a	3,7 a	3,1 a
2	1,0 a	1,4 a	2,4 a	3,9 a	3,7 a	3,0 b
3	1,0 a	1,4 a	2,4 a	3,8 b	3,6 b	2,9 c
4	1,0 a	1,4 a	2,3 a	3,8 b	3,5 b	2,7 d

Lâminas 1, 2, 3 e 4: lâminas de irrigação com 50, 75, 100 e 125 % da ETC. Tempo 1, 2, 3, 4, 5 e 6: coleta antes do corte dos adubos verdes e aos 7, 22, 37, 56 e 70 dias após o corte, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade de acordo com teste F e de Tukey.

A diferença nos teores de N-total em função das lâminas de irrigação foi observada a partir dos 37 dias após o corte. As parcelas que receberam menores lâminas de irrigação apresentaram maior teor de N-total no solo. Supõe-se que as maiores lâminas de irrigação tenham lixiviado parte do N-inorgânico que constitui o N-total para camadas mais profundas do solo, diminuindo a concentração do mesmo na camada de solo avaliada. Segundo Sangoi *et al.* (2003), a lixiviação é o principal processo de perda de N, principalmente na forma de nitrato.

A lixiviação do N em áreas agrícolas é potencializada pelas propriedades físicas dos solos, pelas práticas agrícolas intensivas e pela elevada aplicação de água na irrigação (JADOSKI *et al.*, 2010). Nario, Pino e Zapata (2003) relataram que o fenômeno da lixiviação depende do manejo da irrigação; em áreas onde a irrigação fornece mais água do que a necessidade da cultura, o excesso pode promover a lixiviação dos nutrientes. Segundo Boaretto, Matos Junior e Trivelin (2007) a disponibilidade e absorção de N pode ser impedida devido à lixiviação causada pelo excesso de água da chuva e/ou irrigação.

A avaliação dos teores de N-total em função das duas profundidades de coleta de solo (TABELA 8) reforça a ideia de que houve lixiviação de N, principalmente a partir do tempo 4 (37 dias após o corte e aplicação dos adubos), onde foram constatados maiores teores de N-total. Mesmo que os teores na profundidade 1 tenham sido sempre maiores em relação aos valores encontrados na profundidade 2, nas

duas últimas épocas de coleta (5 e 6) houve diminuição na diferença nos teores de N-total entre as duas profundidades avaliadas.

Tabela 8 – Teores médios de N-total no solo (g kg^{-1}) ao longo do tempo em função das diferentes profundidades de coleta.

Profundidade	Tempo					
	1	2	3	4	5	6
	-----g kg ⁻¹ -----					
1	1,3 a	1,7 a	2,8 a	4,3 a	3,9 a	3,2 a
2	0,6 b	1,0 b	1,8 b	3,4 b	3,3 b	2,6 b

Profundidade 1 e 2: amostras coletadas nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, respectivamente. Tempo 1, 2, 3, 4, 5 e 6: coleta antes do corte dos adubos verdes e aos 7, 22, 37, 56 e 70 dias após o corte, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade de acordo com teste F e de Tukey.

As maiores médias de N-total no solo encontradas na profundidade 1 (0-5 cm) são consequência do manejo da cobertura do solo, uma vez que não houve incorporação dos resíduos vegetais. Além disso, a camada mais superficial possui melhores condições de temperatura, umidade e oxigênio as quais favorecem a atividade microbiana (ERNANI; SANGOI; RAMPAZZO, 2002) e maiores teores de N-total.

Esse resultado foi condizente com o encontrado por Maia *et al.* (2008) que observaram maiores teores de N-total na camada de 0-6 cm em sistemas agroflorestal e convencional, havendo decréscimo nos teores com o aumento da profundidade. Rangel *et al.* (2008), avaliando C-orgânico e N-total do solo e suas relações com os espaçamentos de plantio de cafeeiro, também verificaram maior teor de N total na camada superficial do solo.

Houve efeito significativo para a interação entre tipos de adubos verdes e as profundidades em todas as épocas de amostragem. Na Tabela 9 são apresentadas as médias dessa interação. Para todos os tempos e profundidades avaliadas, a *Pueraria phaseoloides* apresentou os maiores teores de N-total no solo. Conforme já discutido, isso é consequência da maior produção de biomassa da *Pueraria phaseoloides* quando comparada com o *Calopogonium muconoides* L e vegetação espontânea, bem como da menor relação C/N quando a *Pueraria phaseoloides* é comparada com o resíduo da bananeira. Esses fatores contribuíram para que a decomposição da biomassa vegetal da *Pueraria phaseoloides* tenha sido maior e de forma mais rápida, respectivamente.

Tabela 9 – Teores médios de N-total no solo (g kg^{-1}) em função da interação entre adubos verdes e profundidade de amostragem.

Tempo	Adubo verde	Profundidade	
		1	2
		-----g kg ⁻¹ -----	
1	CT	1,71 aA	0,93 aB
	CG	1,06 cA	0,51 cB
	VE	1,57 bA	0,62 bB
	T	1,05 cA	0,37 dB
2	CT	2,74 aA	1,82 aB
	CG	1,46 bA	0,81 bB
	VE	1,43 bcA	0,76 bB
	T	1,33 cA	0,71 bB
3	CT	3,63 aA	2,36 aB
	CG	2,74 bA	1,69 bB
	VE	2,78 bA	1,78 bB
	T	2,27 cA	1,56 cB
4	CT	6,29 aA	5,31 aB
	CG	4,10 bA	3,12 bB
	VE	3,68 cA	2,80 cB
	T	2,97 dA	2,41 dB
5	CT	5,42 aA	4,69 aB
	CG	3,23 dA	2,64 dB
	VE	3,74 bA	3,08 bB
	T	3,46 cA	2,82 cB
6	CT	4,34 aA	3,64 aB
	CG	2,63 cA	1,86 cB
	VE	3,00 bA	2,37 bB
	T	2,97 bA	2,41 bB

Tempo 1, 2, 3, 4, 5 e 6: coleta antes do corte dos adubos verdes e aos 7, 22, 37, 56 e 70 dias após o corte, respectivamente. CT: consórcio das bananeiras com *Pueraria phaseoloides*; CG: consórcio das bananeiras com *Calopogonium muconoides* L; VE: consórcio das bananeiras com vegetação espontânea; T: testemunha (resíduo das bananeiras). Profundidade 1 e 2: amostras coletadas nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e da mesma letra maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade de acordo com teste F e de Tukey.

Aos 37 dias após o corte e aplicação dos adubos verdes (tempo 4), comparando os teores de N-total entre as subparcelas que receberam adubação pelas leguminosas *Pueraria phaseoloides* e *Calopogonium muconoides* L e as demais subparcelas, é possível observar que as mesmas apresentaram maiores teores de N-total em ambas profundidades avaliadas.

2.3.3 Nitrogênio inorgânico do solo

Para o nitrogênio inorgânico (N-inorgânico) na forma de $N-NO_3^-$, na maior parte das épocas de amostragem, não foi verificada interação entre os três fatores avaliados (lâminas de irrigação, adubos verdes e profundidade de coleta). Sendo assim, foram analisadas as interações duplas (quando significativas) e o efeito isolado de cada fator. Já para o N-inorgânico na forma de $N-NH_4^+$ foi verificada interação entre os três fatores avaliados na maior parte das épocas de amostragem (TABELAS 10 e 11).

Tabela 10 – Resumo da análise de variância para o $N-NO_3^-$ nas épocas de coleta.

Tabela de Variância									
Nitrato									
Tempo 1					Tempo 2				
FV	GL	SQ	QM	F	FV	GL	SQ	QM	F
Ta	3	409,56961	136,5232	18,2418 **	Ta	3	514,94836	171,64945	14,7247 **
Tb	3	276,73586	92,24529	153,0359 **	Tb	3	1833,45836	611,15279	976,1498**
Tc	1	132,64133	132,64133	359,0207 **	Tc	1	722,47508	722,47508	1374,9835 **
Ta x Tb	9	9,5082	1,05647	1,7527 ns	Ta x Tb	9	34,36133	3,81793	6,0981 **
Ta x T c	3	11,05586	3,68529	9,9750 **	Ta x T c	3	7,33898	2,44633	4,6557 **
Tb x Tc	3	39,97336	13,32445	36,0653 **	Tb x Tc	3	507,92648	169,30883	322,2213 **
TaTbTc	9	1,9307	0,21452	0,5806 ns	TaTbTc	9	6,8132	0,75702	1,4407 ns
Tempo 3					Tempo 4				
Ta	3	546,37125	182,12375	671,9400 **	Ta	3	674,73531	224,91177	562,9147 **
Tb	3	3220,27938	1073,42646	1835,4617 **	Tb	3	8102,23031	2700,74344	3887,0299 **
Tc	1	1435,140131	1435,14031	5481,3396 **	Tc	1	1099,805	1099,805	2130,1580 **
Ta x Tb	9	14,26188	1,58465	2,7096 *	Ta x Tb	9	10,79656	1,19962	1,7265 ns
Ta x T c	3	2,33094	0,77698	2,9676 *	Ta x T c	3	2,37062	0,79021	1,5305 ns
Tb x Tc	3	265,56906	88,52302	338,1026 **	Tb x Tc	3	363,89062	121,29687	234,9339**
TaTbTc	9	8,46219	0,94024	3,5911 **	TaTbTc	9	5,55125	0,61681	1,1947 ns
Tempo 5					Tempo 6				
Ta	3	799,51461	266,50487	404,6841 **	Ta	3	892,24594	297,41531	1939,2259 **
Tb	3	5259,04898	1753,01633	1850,5052 **	Tb	3	4022,73906	1340,91302	807,7282 **
Tc	1	1239,39758	1239,39758	2917,8387 **	Tc	1	327,04031	327,04031	342,7684 **
Ta x Tb	9	4,24133	0,47126	0,4975 ns	Ta x Tb	9	8,05719	0,89524	0,5393 ns
Ta x T c	3	0,88336	0,29445	0,6932 ns	Ta x T c	3	1,86094	0,62031	0,6501 ns
Tb x Tc	3	142,56648	47,52216	111,8785 **	Tb x Tc	3	14,78906	4,92969	5,1668 **
TaTbTc	9	1,45883	0,16209	0,3816 ns	TaTbTc	9	1,13219	0,1258	0,1318 **

FV: fontes de variação; GL: grau de liberdade; SQ: soma de quadrado; QM: quadrado médio; F: estatística do teste F. Tempo 1, 2, 3, 4, 5 e 6: coleta antes do corte dos adubos verdes e aos 7, 22, 37, 56 e 70 dias após o corte, respectivamente. Ta: tratamento a (lâminas de irrigação); Tb: tratamento b (adubos verdes); Tc: tratamento c (profundidade). Ta x Tb: interação tratamento a e b; Ta x Tc: interação tratamento a e c; Tb x Tc: interação tratamento b e c; TaTbTc: interação tratamento a, b e c. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0.01$). * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$). ns: não significativo ($p \geq 0.05$).

Tabela 11 – Resumo da análise de variância para o N-NH₄⁺ nas épocas de coleta.

Tabela de Variância										
Amônio										
Tempo 1					Tempo 2					
FV	GL	SQ	QM	F	FV	GL	SQ	QM	F	
Ta	3	398,21	132,73667	748,1049 **	Ta	3	490,74281	163,58094	4407,0449 **	
Tb	3	840,95688	280,31896	2,5980 *	Tb	3	766,03406	255,34469	5761,0082 **	
Tc	1	200	200	458,8362 **	Tc	1	157,97531	157,97531	3311,2729 **	
Ta x Tb	9	29,61938	3,29104	2,5980 *	Ta x Tb	9	51,77281	5,75253	129,7869 **	
Ta x T c	3	0,57625	0,19208	0,4407 ns	Ta x T c	3	3,06031	1,0201	21,3821 **	
Tb x Tc	3	12,67688	4,22563	9,6943 **	Tb x Tc	3	3,96406	1,32135	27,6965 **	
TaTbTc	9	2,76437	0,30715	0,7047 ns	TaTbTc	9	6,84031	0,76003	15,9309**	
Tempo 3					Tempo 4					
Ta	3	618,52148	206,17383	3815,4578 **	Ta	3	760,65648	253,55216	7256,9463 **	
Tb	3	1435,99523	478,66508	9827,5204 **	Tb	3	4993,67273	1664,55758	36713,9638 **	
Tc	1	310,93945	310,93945	5919,7199 **	Tc	1	301,6582	301,6582	5534,3764 **	
Ta x Tb	9	31,73508	3,52612	72,3951 **	Ta x Tb	9	5,63633	0,62626	13,8129 **	
Ta x T c	3	5,77398	1,92466	36,6420 **	Ta x T c	3	0,72898	0,24299	4,2164 **	
Tb x Tc	3	48,26523	16,08841	306,2940 **	Tb x Tc	3	36,96398	12,32133	213,7998 **	
TaTbTc	9	8,76508	0,9739	18,5412 **	TaTbTc	9	1,61758	0,17973	3,1187 **	
Tempo 5					Tempo 6					
Ta	3	622,32563	207,44188	13829,4583 **	Ta	3	779,01148	259,67049	4627,0752 **	
Tb	3	2377,15938	792,38646	23709,8494 **	Tb	3	1866,46586	622,15529	20059,4148 **	
Tc	1	236,53125	236,53125	6768,1073 **	Tc	1	367,54383	367,54383	7551,4623 **	
Ta x Tb	9	23,0675	2,56306	76,6919 **	Ta x Tb	9	18,27133	2,03015	65,4556 **	
Ta x T c	3	0,74312	0,24771	7,0879 **	Ta x T c	3	0,29273	0,09758	2,0048 ns	
Tb x Tc	3	11,48312	3,82771	109,5261 **	Tb x Tc	3	12,35461	4,1182	84,6116 **	
TaTbTc	9	4,005	0,445	12,7332**	TaTbTc	9	18,25758	2,02862	41,6795 **	

FV: fontes de variação; GL: grau de liberdade; SQ: soma de quadrado; QM: quadrado médio; F: estatística do teste F. Tempo 1, 2, 3, 4, 5 e 6: coleta antes do corte dos adubos verdes e aos 7, 22, 37, 56 e 70 dias após o corte, respectivamente. Ta: tratamento a (lâminas de irrigação); Tb: tratamento b (adubos verdes); Tc: tratamento c (profundidade). Ta x Tb: interação tratamento a e b; Ta x Tc: interação tratamento a e c; Tb x Tc: interação tratamento b e c; TaTbTc: interação tratamento a, b e c. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < 0,01). * significativo ao nível de 5% de probabilidade (p < 0,05). ns: não significativo (p >= 0,05).

Analisando o efeito isolado das lâminas de irrigação nas formas de N-inorgânico do solo (TABELA 12) foi possível observar que as maiores lâminas promoveram menor teor de N-inorgânico na forma de nitrato (N-NO₃⁻) e maior teor na forma de amônio (N-NH₄⁺). Em todos os tempos avaliados, na medida em que aumentou a lâmina de irrigação houve redução na disponibilidade de N-NO₃⁻ (TABELA 12).

À medida que aumenta a quantidade de água fornecida por meio da irrigação, diminui a disponibilidade de oxigênio no solo, uma vez que água e oxigênio concorrem pelo mesmo espaço poroso. Havendo redução no teor de oxigênio, há diminuição do $N\text{-NO}_3^-$ cuja presença exige boas condições de oxigenação. Diversos autores destacam que em solos sem restrição de oxigênio a forma de N-inorgânico que predomina é $N\text{-NO}_3^-$ (SANGOI *et al.*, 2003; CANTARELLA, 2007; TISDALE *et al.*, 2005), visto que a nitrificação consome O_2 , ou seja, só ocorre em condições aeróbias.

O $N\text{-NH}_4^+$ (TABELA 12) apresentou comportamento inverso com teores crescentes na medida em que houve aumento na lâmina de irrigação. Essa forma química de N se manifesta em ambientes com baixa concentração de oxigênio. Durante o processo de mineralização, o N-orgânico é transformado em N-amoniaco por meio da ação de bactérias amonificantes, posteriormente bactérias nitrificantes transformam o N-amoniaco em N-nítrico (FRANCO NETO, 2011). Essas bactérias só agem se encontrarem condições adequadas para a sua manifestação, dentre essas condições destaca-se a aeração (PEIXOTO, 2008). Quando as condições de nitrificação não são adequadas ocorre acúmulo de $N\text{-NH}_4^+$ no solo. No presente estudo, na medida em que houve redução no teor de oxigênio devido ao aumento da quantidade de água fornecida pela irrigação, houve aumento na disponibilidade de amônio.

Tabela 12 – Teores médios de $N\text{-NO}_3^-$ e $N\text{-NH}_4^+$ (mg kg^{-1}) no solo coletado nas seis épocas e submetido a quatro lâminas de irrigação.

Lâminas	Tempo											
	T1		T2		T3		T4		T5		T6	
	NO_3^-	NH_4^+	NO_3^-	NH_4^+	NO_3^-	NH_4^+	NO_3^-	NH_4^+	NO_3^-	NH_4^+	NO_3^-	NH_4^+
	----- mg kg^{-1} -----											
L1	8,63 a	5,45 d	11,01 a	6,09 d	16,63 a	9,98 d	26,75 a	17,36 d	25,38 a	16,80 d	23,07 a	14,70 d
L2	6,89 ab	7,00 c	9,97 ab	7,81 c	15,19 b	11,90 c	24,54 b	19,57 c	23,15 b	18,60 c	20,55 b	16,98 c
L3	5,12 bc	8,57 b	7,52 bc	9,34 b	13,19 c	13,95 b	22,68 c	21,70 b	20,87 c	20,49 b	18,21 c	18,78 b
L4	3,90 c	10,19 a	5,91 c	11,41 a	11,16 d	15,85 a	20,53 d	23,92 a	18,68 d	22,74 a	15,98 d	21,44 a

Lâminas 1, 2, 3 e 4: lâminas de irrigação com 50, 75, 100 e 125 % da ETC. Tempo 1, 2, 3, 4, 5 e 6: coleta antes do corte dos adubos verdes e aos 7, 22, 37, 56 e 70 dias após o corte, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade de acordo com teste F e de Tukey.

Supõe-se que o uso de diferentes lâminas de irrigação tenha influenciado o tempo de conversão do $N\text{-NH}_4^+$ em $N\text{-NO}_3^-$. Observa-se na Tabela 12 que as parcelas que receberam menores lâminas de irrigação apresentaram maior teor de $N\text{-NO}_3^-$ aos 37 dias após o corte e aplicação dos adubos verdes. Segundo Maçãs (2008) solos em condições aeróbias oxidam o $N\text{-NH}_4^+$ para $N\text{-NO}_3^-$ em poucos dias (15 a 30 dias).

Por meio dos resultados deste estudo, constata-se que a parte inorgânica do N-total na quarta coleta (37 dias) dos tratamentos com menores lâminas de irrigação foi constituída predominantemente por N-NO₃⁻, enquanto que nos tratamentos com maiores lâminas de irrigação o predomínio foi de N-NH₄⁺. Isso provavelmente minimizou as perdas de N por lixiviação, já que o N-NO₃⁻ é mais facilmente lixiviado que o N-NH₄⁺. Nesse período, embora tenha ocorrido redução no gradiente de N-total entre as profundidades avaliadas, indicando que houve lixiviação do N do solo, esse gradiente foi um pouco maior do que nos períodos posteriores, indicando que a lixiviação foi menor (TABELA 8).

Ao analisar o efeito isolado dos adubos verdes nas formas de N-inorgânico do solo, observou-se que o tratamento com *Pueraria phaseoloides* resultou em maiores teores de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺ (TABELA 13). A explicação para esse resultado é a mesma dada ao maior teor de N-total observado para esse tratamento que representou maior aporte de biomassa vegetal com maiores teores de N (TABELA 4).

Tabela 13 - Teores de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺ (g kg⁻¹) nas épocas de avaliação em função dos adubos verdes.

Adubo	Tempo											
	T1		T2		T3		T4		T5		T6	
	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺										
-----mg kg-1-----												
CT	8,51 a	11,77 a	15,08 a	12,19 a	22,31 a	17,75 a	36,18 a	29,35 a	30,78 a	25,91 a	26,78 a	23,47 a
CG	4,93 c	8,21 b	7,23 b	9,57 b	13,56 b	14,02 b	24,51 b	23,59 b	14,00 d	14,28 d	11,53 d	13,27 d
VE	6,21 b	6,24 c	6,57 c	7,10 c	11,08 c	11,14 c	18,44 c	16,06 c	25,05 b	20,93 b	21,88 b	19,28 b
T	4,89 c	4,99 d	5,54 d	5,80 d	9,22 d	8,77 d	15,38 d	13,54 d	18,25 c	17,50 c	17,61 c	15,88 c

CT: consórcio das bananeiras com *Pueraria phaseoloides*; CG: consórcio das bananeiras com *Calopogonium muconoides* L; VE: consórcio das bananeiras com vegetação espontânea; T: testemunha (resíduo das bananeiras); Tempo 1, 2, 3, 4, 5 e 6: coleta antes do corte dos adubos verdes e aos 7, 22, 37, 56 e 70 dias após o corte, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si ao nível de 1% de probabilidade de acordo com teste F e de Tukey.

As leguminosas *Pueraria phaseoloides* e *Calopogonium muconoides* L apresentaram maiores médias de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺ aos 37 dias após o corte e aplicação dos adubos verdes (tempo 4), diferindo dos outros dois adubos verdes avaliados. A velocidade de mineralização para essas leguminosas possivelmente foi maior.

Na quarta época de amostragem, foram observados os maiores teores de N-total para os tratamentos com leguminosas. O valor médio de N-total no tratamento com *Pueraria phaseoloides* foi de 5,8 g Kg⁻¹ de solo. Desse valor 36,18 mg Kg⁻¹ corresponde ao N-NO₃⁻ e 29,35 mg Kg⁻¹ corresponde ao N-NH₄⁺. A soma dessas duas formas

inorgânicas corresponde a aproximadamente 1,13% do N-total presente no solo dessas subparcelas. Já no tratamento com *Calopogonium muconoides* L, o valor de N-total na quarta época de amostragem foi de 3,6 g Kg⁻¹ de solo. Desse total 24,51 mg Kg⁻¹ corresponde ao N-NO₃⁻ e 23,59 mg Kg⁻¹ ao N-NH₄⁺, perfazendo 1,34% do N-total presente no solo. Para os tratamentos com vegetação espontânea e resíduos da bananeira, os maiores teores de N-total foram observados na quinta época de amostragem. Para a vegetação espontânea o valor de N-total, na quinta época de amostragem foi de 3,4 g Kg⁻¹ de solo, sendo 25,05 mg Kg⁻¹ correspondente ao NO₃⁻ e 20,93 mg Kg⁻¹ correspondente ao NH₄⁺. Para esse tratamento as principais formas minerais de N correspondem a aproximadamente 1,35% do N-total presente no solo. No tratamento testemunha, na quinta época de amostragem, o valor de N-total foi de 3,1 g Kg⁻¹ de solo, onde 18,25 mg Kg⁻¹ foram correspondentes ao NO₃⁻ e 17,50 mg Kg⁻¹ correspondentes ao NH₄⁺, perfazendo 1,15% do N-total presente no solo.

Esse resultado corrobora com Cantarella (2007), o referido autor observou que mais de 95% do N-total está na forma orgânica e apenas 5% na forma inorgânica. No presente trabalho o maior teor de N-total está na forma orgânica, possivelmente imobilizado na biomassa microbiana. Os microrganismos do solo assimilam o N para formar os constituintes orgânicos de suas células e tecidos (ALFAIA, 2006). A imobilização pela microbiota do solo é um componente importante do N potencialmente mineralizável, uma vez que ela é temporária; à medida que ocorre a morte dos microrganismos, há mineralização destes pelo restante da biomassa, liberando os nutrientes imobilizados, e quanto maior o conteúdo de N na biomassa microbiana, mais rápida será a sua reciclagem (ANDERSON, 2003).

Para o N-NO₃⁻ houve interação significativa entre os adubos verdes e as profundidades de amostragem durante todo o período do experimento (TABELA 10). As médias dessa interação encontram-se na Tabela 14.

Tabela 14 – Teores de N-NO_3^- (mg kg^{-1}) na interação entre adubos verdes e profundidades de amostragem.

Tempo	Adubo verde	Profundidade	
		1	2
		-----mg Kg ⁻¹ -----	
1	CT	10,48 aA	6,54 aB
	CG	5,54 cA	4,33 cB
	VE	7,08 bA	5,34 bB
	T	5,51 cA	4,27 cB
2	CT	20,86 aA	9,29 aB
	CG	8,33 bA	6,13 bB
	VE	8,31 bA	4,82 cB
	T	6,42 cA	4,67 cB
3	CT	28,14 aA	16,48 aB
	CG	16,03 bA	11,09 bB
	VE	13,43 cA	8,73 cB
	T	11,96 dA	6,48 dB
4	CT	42,00 aA	30,36 aB
	CG	26,34 bA	22,67 bB
	VE	20,79 cA	16,09 cB
	T	17,09 dA	13,67 dB
5	CT	35,66 aA	25,89 aB
	CG	16,33 dA	11,67 dB
	VE	28,00 bA	22,09 bB
	T	20,53 cA	15,97 cB
6	CT	28,89 aA	24,66 aB
	CG	13,19 dA	9,88 dB
	VE	23,08 bA	20,69 bB
	T	19,04 cA	16,19 cB

Tempo 1, 2, 3, 4, 5 e 6: coleta antes do corte dos adubos verdes e aos 7, 22, 37, 56 e 70 dias após o corte, respectivamente. CT: consórcio das bananeiras com *Pueraria phaseoloides*; CG: consórcio das bananeiras com *Calopogonium muconoides* L; VE: consórcio das bananeiras com vegetação espontânea; T: testemunha (resíduo das bananeiras). Profundidade 1 e 2: amostras coletadas nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e da mesma letra maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si ao nível de 1% de probabilidade de acordo com teste F e de Tukey.

Na camada superficial verificou-se maior teor de N-NO_3^- , principalmente no tratamento com *Pueraria phaseoloides*, havendo decréscimo dessa forma com o aumento da profundidade de coleta. Isso é explicado pelo fato de que a camada superficial geralmente apresenta melhores condições de nitrificação, principalmente devido à maior aeração, uma vez que está em contato com o ar atmosférico. Resultado semelhante foi encontrado por Cardoso Neto, Guerra e Chaves (2006) ao estudarem o N residual em solo adubado com diversas fontes e intervalos de aplicação de N. Maia *et al.* (2008) também observaram redução no teor de N-NO_3^- com o aumento da

profundidade. D'Andréia *et al.* (2004) observaram no sistema de plantio direto que a camada mais superficial do solo apresentou maiores teores de N-NO_3^- .

O N-NH_4^+ também apresentou interação significativa entre os adubos verdes e as profundidades de amostragem durante todo o período do experimento (TABELA 11). As médias dessa interação encontram-se na Tabela 15.

Tabela 15 – Teores de N-NH_4^+ (mg kg^{-1}) na interação entre adubos verdes e profundidades de amostragem.

Tempo	Adubo verde	Profundidade	
		1	2
		-----mg Kg ⁻¹ -----	
1	CT	10,13 aB	13,42 aA
	CG	6,78 bB	9,64 bA
	VE	5,14 cB	7,34 cA
	T	4,17 dB	5,81 dA
2	CT	10,83 aB	13,55 aA
	CG	8,44 bB	10,69 bA
	VE	6,00 cB	8,20 cA
	T	4,94 dB	6,66 dA
3	CT	15,38 aB	20,12 aA
	CG	12,84 bB	15,20 bA
	VE	9,25 cB	13,04 cA
	T	7,98 dB	9,56 dA
4	CT	26,92 aB	31,79 aA
	CG	22,44 bB	24,74 bA
	VE	14,60 cB	17,52 cA
	T	12,44 dB	14,68 dA
5	CT	24,74 aB	27,08 aA
	CG	13,04 dB	15,53 dA
	VE	19,06 bB	22,81 bA
	T	16,34 cB	18,65 cA
6	CT	22,29 aB	24,64 aA
	CG	11,27 dB	15,28 dA
	VE	17,51 bB	21,04 bA
	T	14,05 cB	17,72 cA

Tempo 1, 2, 3, 4, 5 e 6: coleta antes do corte dos adubos verdes e aos 7, 22, 37, 56 e 70 dias após o corte, respectivamente. CT: consórcio das bananeiras com *Pueraria phaseoloides*; CG: consórcio das bananeiras com *Calopogonium muconoides* L; VE: consórcio das bananeiras com vegetação espontânea; T: testemunha (resíduo das bananeiras). Profundidade 1 e 2: amostras coletadas nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e da mesma letra maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si ao nível de 1% de probabilidade de acordo com teste F e de Tukey.

Analisando o efeito da profundidade para essa forma de N ao longo do tempo, observou-se que a camada subsuperficial do solo apresentou maiores teores de N-NH_4^+ , apresentando comportamento inverso ao N-NO_3^- , principalmente nas parcelas adubadas com *Pueraria phaseoloides*. Isso é explicado pelo fato de que a camada subsuperficial do solo apresentou condições menos favoráveis à nitrificação quando comparada à camada superficial. Assim, houve acúmulo de N-NH_4^+ na profundidade de 5-10 cm, principalmente nos tratamentos com maior lâmina de irrigação. Esse resultado corrobora com D'Andréia *et al.* (2004) e Maia *et al.* (2008) que também verificaram aumento nos teores de N-NH_4^+ com aumento da profundidade.

2.4 CONCLUSÕES

A adubação verde foi favorecida nas áreas adubadas pela leguminosa *Pueraria phaseoloides*, uma vez que a mesma promoveu o aporte de elevada quantidade de biomassa de fácil decomposição.

O uso das maiores lâminas de irrigação (100 e 125 % da evapotranspiração da cultura) não promoveram maior produção de matéria seca das diferentes espécies usadas como cobertura do solo. Porém, as mesmas influenciaram nas formas de N-inorgânico do solo sendo o N-NH_4^+ mais abundante nas áreas com essas lâminas.

REFERÊNCIAS

- AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p.601-612, julho/agosto 2003.
- ALFAIA, S. S. Caracterização e distribuição das formas do nitrogênio orgânico em três solos da Amazônia Central. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 36, n. 2, p. 135-140, 2006.
- ALVARENGA, R. C.; CABEZAS, W. A. L.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 25-36, janeiro/fevereiro 2001.
- AMBROSANO, E. F. Leguminosas adubo verde: instrumento de manejo ecológico de fertilidade do solo. **Agroecologia Hoje**, 2001. 24p.
- ANDERSON, T. H. Microbial eco-physiological indicators to asses soil quality. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 98, p.285-293, setembro 2003.
- ARAÚJO, H. F.; COSTA, R. N. T.; CRISÓSTOMO, J. R.; SAUNDERS, L. C. U.; MOREIRA, O. C.; MACEDO, A. B. M. Produtividade e análise de indicadores técnicos do maracujazeiro-amarelo irrigado em diferentes horários. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.2, p.159-164, fevereiro 2012.
- BARBOSA, F. E. L. **Crescimento, fisiologia e produção da bananeira prata anã associada a plantas de cobertura e lâminas de irrigação**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.
- BARRADAS, C. A. A. Adubação verde. **Manual Técnico**, v. 25, 2010. 10p.
- BERG, B. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 133, p.13-22, august 2000.
- BOARETTO R. M.; MATOS JUNIOR D.; TRIVELIN, P. C. O.; MURAOKA, T.; BOARETTO, A. E. Nutrient accumulation and fate of nitrogen (N15) in young bearing orange trees. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p.600-605, 2007.
- BONA, F. D. de; BAYER, C; BERGAMASCHI, H; DIECKOW, J. Carbono orgânico no solo em sistemas irrigados por aspersão sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 911-920, setembro/outubro 2006.
- BORGES, A.L.; RAIJ, B. van; MAGALHÃES, A.F. de J.; BERNARDI, A. C. de C.; LIMA, A. de A. **Nutrição e adubação da bananeira irrigada**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, Circular Técnica 48, p. 8, 2002.
- CALEGARI, A. Coberturas verdes em sistemas intensivos de produção. In: Workshop

nitrogênio na sustentabilidade de sistemas intensivos de produção agropecuária, 2000, Dourados. **Anais**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Embrapa Agrobiologia, p.141-153, 2000.

CANTARELLA, H. VII – Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. et. al. (Ed.) **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2007. p. 375-470.

CARDOSO NETO, F.; GUERRA, H. O. C.; CHAVES, L. H. G. Nitrogênio residual em adubado com diferentes fontes e intervalos de aplicação de nitrogênio. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 19, n. 2, p. 161-168, abril/junho 2006.

CARVALHO, N. L.; ZABOT, V. Nitrogênio: nutriente ou poluente? **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 6, n. 6, p. 960 – 974, 2012.

CARVALHO, A. M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; SOUSA JUNIOR, J. G. A.; VIVALDI, L. J. Decomposição de resíduos vegetais em Latossolo sob cultivo de milho e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. especial, p.2831-2838, 2008.

CARVALHO, A.M.; BURLE, M.L.; PEREIRA, J.; SILVA, M.A. Manejo de adubos verdes no Cerrado. **Circular Técnica**, 4. Embrapa Cerrados, 28p, 1999.

CASTRO, C.M.; ALVES, B.J.R.; ALMEIDA, D.L.; RIBEIRO, R. L. D. Adubação verde como fonte de nitrogênio para a cultura da berinjela em sistema orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 8, p.779-785, agosto 2004.

CHEN, J.; STARK, J. M. Plant species effects and carbon and nitrogen cycling in a sagebrush-crested wheat grass soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 32, n. 4, p. 47–57, 2000.

D'ANDRÉIA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; GUILHERME, L. R. G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 2, p.179-186, fevereiro 2004.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2ª ed. Rio de Janeiro, p.306, 2006.

ERNANI, P. R.; SANGOI, L.; RAMPAZZO, C. Lixiviação e imobilização de nitrogênio num Nitossolo como variáveis da forma de aplicação da uréia e da palha de aveia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 993-1000, junho 2002.

ERNANI, P. R.; NASCIMENTO, J. A. L.; FREITAS, E.G. Aumento do rendimento de grãos e de massa verde de milho para silagem pela aplicação de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 2, p. 201-205, 1997.

ESPINDOLA, J.A.A.; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L.; TEIXEIRA, M.G. & URQUIAGA, S. Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**,

Viçosa, v. 30, n. 2, p.321-328, março/abril 2006a.

ESPÍNDOLA, J. A. A; GUERRA, J. G. M; PERIN, A; TEIXEIRA, M. G; ALMEIDA, D. L de; URQUIAGA, S; BUSQUET, R. N. B. Bananeiras consorciadas com leguminosas herbáceas perenes utilizadas como coberturas vivas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.3, p.415-420, março 2006b.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F.; SANTOS, A. B. Maximização da eficiência de produção das culturas. Comunicação para transferência de tecnologia/**Embrapa Arroz e Feijão**, p. 294, 1999.

FERNANDES, V. L. B. **Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado do Ceará**, Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Ciências do Solo, Fortaleza-Ceará, p. 248, 1993.

FRANCO NETO, I. F. **Estudo dos processos de nitrificação e desnitrificação numa estação de tratamento de águas residuais**. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2011.

GILLER, K. E. **Nitrogen fixation in tropical cropping systems**. 2nd ed. Wallingford: CAB International, 2001. 448p.

GOMES, M. A. F.; SOUZA, M. D. ; BOEIRA, R. C.; TOLEDO, L. G. Nutrientes vegetais no meio ambiente: ciclos bioquímicos, fertilizantes e corretivos. 2º ed. **Documentos 66**. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, 2008.

GUERRA, J. G. M; ESPÍNDOLA, J. A. A; PERIN, A; TEIXEIRA, M. G; ALMEIDA, D. L. de; ASSIS, R. L. de. Desempenho de leguminosas tropicais perenes como plantas de cobertura do solo. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Embrapa Agrobiologia, Seropédica, v. 20, p. 39, 2007.

JADOSKI, S. O.; SAITO, L. R.; PRADO, C.; LOPES, E. C.; SALES, L. L. S. R. Características da lixiviação do nitrato em áreas de agricultura intensiva. **Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia**, v. 3, n. 1, p. 193-200, janeiro/abril 2010.

MAIA, S. M. F; XAVIER, F. A. S; OLIVEIRA, T. S; MENDONÇA, E. S; ARAÚJO FILHO, J. A. Frações de nitrogênio em Luvissole sob sistemas agroflorestais e convencional no semiárido cearense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 381-392, 2008.

MAÇÃS, J. E. S. **Nitrogênio nítrico e amoniacal no desenvolvimento da parte aérea de milho cultivado em Argissolo**. 2008. 59 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M. F. O nitrogênio na agricultura brasileira. **Série estudos e documentos**, 2006. 68 p.

MASON, M. G.; WILLIAMS, C. H. An investigation of reduction in wheat yields after use of a high level of ammonium sulphate for a number of years. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, v. 20,n. 103, p. 210-219, 1980.

MATEUS, G. P.; WUTKE, E. B. Espécies de leguminosas utilizadas como adubos verdes. **Pesquisa e Tecnologia**, v. 3, n.1, p.1-15, janeiro/junho 2006.

MENDES, A. M. S.; GIONGO, V.; SILVA, D. J.; CUNHA, T. J. F.; SILVA, M. S. L.; GALVÃO, S. R. S. Processo de decomposição e liberação de nutrientes de coquetéis vegetais no cultivo de mangueiras no semiárido brasileiro. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento 89**, Embrapa Semiárido, 2011.

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

MONTEIRO, H. C. F.; CANTARUTTI, R. B., NASCIMENTO JUNIOR, D.; REGAZZI, A. J.; FONSECA, D. M. Dinâmica de decomposição e mineralização de nitrogênio em função da qualidade de resíduos de gramíneas e leguminosas forrageiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 1092-1102, junho 2002.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, p. 729, 2006.

NARIO A.; PINO I.; ZAPATA F.; ALBORNOZ, M. P.; BAHERLE, P. Nitrogen (N15) fertilizer use efficiency in peach (*Prunus persica* L.) cv. Goldencrest trees in Chile. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 97, n. 3-4, p. 279-287, 2003.

NOBLE, A.D.; BENNECK. I.; RANDALL, P.J. Leaf litter ash alkalinity and neutralization of soil acidity. **Plant and Soil**, v. 179, n. 2, p. 293-302, february 1996.

OLIVEIRA NETO, O. do C. de. **Maturação e conservação sob atmosfera modificada de Bananas Prata, Pacovan e Nanicão tratadas pós-colheita com 1-etilciclopropeno (1-MCP)**. 2002. 155f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal da Paraíba. Areia, PB.

PEIXOTO, M. F. S. P. **O nitrogênio e o ciclo do nitrogênio**. UFRB, 2008.

PELEGRIN, R.; MERCANTE, F. M.; OTSUBO, I. M. N.; OSTUBO, A. A. Resposta da cultura do feijoeiro à adubação nitrogenada e à inoculação com rizóbio. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 219-226, janeiro 2009.

PERIN, A; GUERRA, J.G.M.; TEIXEIRA, M.G.; ZONTA, E. Cobertura do solo e estoque de nutrientes de duas leguminosas perenes, considerando espaçamentos e densidades de plantio. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 207-213, janeiro/fevereiro 2004.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; GUIMARÃES, P. T. G.; MELO, L. C. A.; OLIVEIRA JUNIOR, A. C. Carbono orgânico e nitrogênio total do solo e suas relações com os espaçamentos de plantio de cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 2051-2059, setembro/outubro 2008.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; KAMINSKI, J. Depleção do fósforo inorgânico de diferentes frações provocada pela extração sucessiva com resina em

diferentes solos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 345-354, fevereiro 2000.

SANGOI, L.; ERNANI, P. R.; LECH, V. A.; RAMPAZZO, C. Lixiviação de nitrogênio afetada pela forma de aplicação da uréia e manejo dos restos culturais de aveia em dois solos com texturas contrastantes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n.1, p.65-70, janeiro/fevereiro 2003.

SALMI, G. P.; SALMI, A. P.; ABOUD, A. C. S. Dinâmica de decomposição e liberação de nutrientes de genótipos de guandu sob cultivo em aléias. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 4, p. 673-678, abril 2006.

SANTOS, L. C. **Crescimento inicial de leguminosas forrageiras tropicais inoculadas com bactérias fixadoras de nitrogênio**. Dissertação (Mestrado) – UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ, Ilhéus, 2008. 52p.

SEVERINO, L. S.; FERREIRA, G. B.; MORAES, C. R. A.; GONDIM, T. M. S.; FREIRE, W. S. A.; CASTRO, D. A.; CARDOSO, G. D.; BELTRÃO, N. E. M. Crescimento e produtividade da mamoneira adubada com macronutrientes e micronutrientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 4, p. 563-568, abril 2006.

SEVERINO, L. S.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, Y. P.; BARROS, U. V.; BARBOSA, C. M. Formas de nitrogênio e propriedades do solo em cultivo adensado de café. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 48, n. 275, p. 71-80, janeiro/fevereiro 2001.

SILVA, D. F.; OLIVEIRA, R. A.; COSTA, L. C.; PEREIRA, O. G.; CECON, P. R. Influência de lâminas de irrigação na produção de matéria seca da grama-esmeralda. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 15, n. 1, p. 07-14, janeiro/março 2007.

SMITH, S. J.; SHARPLEY, A. N. Soil nitrogen mineralization in the presence of surface and incorporated crop residues. **Agronomy Journal**, v. 82, n. 1, p.112-116, janeiro/fevereiro 1990.

STRALIOTTO, R.; TEIXEIRA, M.G.; MERCANTE, F.M. Fixação biológica de nitrogênio. In: AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J. & STONE, L.F. Produção de feijoeiro comum em várzeas tropicais. **Embrapa Arroz e Feijão**, p.122-153, 2002.

TEODORO, R. B.; OLIVEIRA, F. L. de; SILVA, D. M. N. da; FÁVERO, C.; QUARESMA, M. A. L. Leguminosas herbáceas perenes para utilização como coberturas permanentes de solo na Caatinga Mineira. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 2, p. 292-300, abril/junho 2011a.

TEODORO, R. B.; OLIVEIRA, F. L. de; SILVA, D. M. N. da; FÁVERO, C.; QUARESMA, M. A. L. Aspectos agronômicos de leguminosas para adubação verde no cerrado do alto vale do Jequitinhonha. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 635-643, janeiro 2011b.

TISDALE, L.; NELSON, N. L.; BEATON, J. D.; HAVLIN, J. L. **Soil fertility and fertilizer**: An introduction to nutrient management. 7 ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2005. 515 p.

3. CAPÍTULO 2: MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO COMO RESULTADO DA IRRIGAÇÃO E DA ADUBAÇÃO VERDE

RESUMO

A irrigação e a adubação verde são práticas de manejo que contribuem com a agricultura em locais onde há limitações edafoclimáticas. O uso de adubos verdes aumenta o carbono orgânico total do solo (COT), uma vez que aporta mais resíduo orgânico sobre o mesmo. Além de aumentar o COT, a adubação verde também promove maior armazenamento de carbono (C) nas substâncias húmicas. A quantificação do C nas diferentes frações da matéria orgânica permite entender como as práticas de manejo podem afetar a qualidade do solo. Supõe-se que adubos verdes apresentem desempenho diferenciado mediante maiores lâminas de irrigação, promovendo maiores valores de COT e de C nas frações menos humificadas da matéria orgânica do solo (MOS). Com esse estudo objetivou-se avaliar os teores de COT e quantificar o C das substâncias húmicas em solo de um bananal manejado com diferentes lâminas de irrigação e adubos verdes. O estudo foi realizado em experimento instalado na fazenda experimental Vale do Curu da Universidade Federal do Ceará, situada no município de Pentecoste, CE. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com parcelas subdivididas e quatro repetições. Nas parcelas foram avaliadas quatro lâminas de irrigação, nas subparcelas foram avaliados os adubos verdes *Pueraria phaseoloides*, *Calopogonium muconoides* L, vegetação espontânea e resíduo da bananeira e nas subsubparcelas diferentes profundidades de coleta de solo. A camada superficial de solo associada ao adubo verde *Pueraria phaseoloides* e à menor lâmina de irrigação apresentou maior teor de COT. A maior quantidade de C foi encontrada na fração ácido fúlvico independente da lâmina de irrigação e do adubo verde. A lâmina de irrigação que forneceu até 75% da evapotranspiração da bananeira e a utilização da leguminosa *Pueraria phaseoloides* como adubo verde proporcionaram maiores teores de COT cuja maior parte concentrou-se na fração menos humificada da MOS.

Palavras-Chave: Fruticultura irrigada. Solos do semiárido. Fracionamento químico.

ABSTRACT

Irrigation and green manure are management practices that contribute to agriculture in places where there are limitations edaphoclimatic. The use of green manures increases the total soil organic carbon (TOC), since it brings more organic residues on the same. Besides increasing the TOC, the green manure it also promotes greater storage of carbon (C) in humic substances. The quantification of C in different organic matter fractions allows understand how the management practices may affect the soil quality. It is supposed that green manures have a different performance by the use of higher irrigation depths, promoting higher values of TOC and C in less humified fractions of soil organic matter (SOM). With this study it was aimed to evaluate the TOC and quantify the C of humic substances in soil from the banana plantation managed with different depths of irrigation and green manures. The study was conducted in an experiment installed at the experimental farm Vale do Curu of the Federal University of Ceará, located in the municipality of Pentecoste, CE. The experimental design was in randomized block with sub subdivided plot design and four replications. In the plots were evaluated four depths of irrigation, in the subplots were evaluated the green manures *Pueraria phaseoloides*, *Calopogonium muconoides* L., spontaneous vegetation and residue of the banana tree and in the subsubplots different depths of soil collected. The superficial layer of soil associated with the green manure *Pueraria phaseoloides* and lower depths of irrigation showed a higher content of TOC. The largest amount of C was found in the fulvic acid fraction independent of depths of Irrigation and green manure. The depths of irrigation that provided up to 75% of the evapotranspiration of the banana plant and the use of leguminous plant *Pueraria phaseoloides* as green manure have provided the highest content of TOC whose the most part concentrated on the fraction less humified of the SOM.

Keywords: Fruit crops irrigated. Semiarid soils. Chemical fractionation.

3.1 INTRODUÇÃO

A matéria orgânica do solo (MOS) é constituída basicamente por carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, enxofre e fósforo. Entre esses constituintes o carbono (C) está presente em maior proporção, de modo que a MOS é considerada como o maior reservatório de C da superfície terrestre (FREIXO *et al.*, 2002).

A quantidade de C orgânico no solo depende do equilíbrio existente entre os processos de perda e de adição de material orgânico. Ou seja, depende da relação entre as adições de C fotossintetizado pelas plantas e as perdas de C para a atmosfera, resultantes da oxidação microbiana do C orgânico a CO₂ (COSTA *et al.*, 2008). A capacidade de fixação e de estoque de C no solo sofre influência de vários fatores, com destaque para: condições climáticas locais, drenagem e o tipo de manejo adotado (SMITH, 2008). Dependendo da quantidade e da qualidade dos resíduos orgânicos depositados ao solo, bem como das práticas de manejo adotadas, poderá haver acréscimo ou redução no teor de C orgânico. Segundo D'Andréia *et al.* (2004) em solos com cobertura vegetal natural, o C orgânico encontra-se em equilíbrio dinâmico, com teores praticamente constantes ao longo do tempo. Essa condição é alterada quando o solo é submetido ao cultivo e um novo equilíbrio é atingido a um nível que varia em razão das características do sistema de manejo adotado (STEVENSON, 1994). Em regiões de clima tropical, a introdução de sistemas agrícolas em áreas com vegetação nativa resulta, geralmente, em rápida perda de C orgânico em virtude da combinação entre calor e umidade (SCHOLES; BREEMEN, 1997).

Os vegetais são os principais responsáveis pela adição ao solo de compostos orgânicos, sendo esses compostos sintetizados durante o processo de fotossíntese (FARIA *et al.*, 2008). Além dos vegetais, alguns microrganismos liberam uma série de compostos orgânicos resultantes de seu metabolismo, os quais passam a compor a MOS. A erosão e a oxidação microbiana são os principais responsáveis pela perda de material orgânico, sendo esses fenômenos minimizados pelo não revolvimento do solo (BAYER; MIELNICZUK; MARTIN NETO, 2000).

A adubação verde, como prática de manejo sustentável, aumenta a quantidade de C sequestrado no solo e diminui os efeitos desse elemento na atmosfera. A adubação verde é influenciada por vários fatores que estão associados ao manejo da área cultivada, dentre os quais se destacam a espécie utilizada como adubo verde e a irrigação. Dentre as plantas utilizadas como adubos verdes destacam-se as leguminosas,

devido, principalmente, ao fato de adicionarem C e N ao solo (FARIA, COSTA, LEÃO, 2004; PERIN et al., 2002a). Guerra *et al.* (2007) observaram que as áreas onde a leguminosa *Pueraria phaseoloides* foi utilizada como adubo verde apresentaram maiores teores de COT. Teodoro *et al.* (2011) verificaram que o uso das leguminosas *Pueraria phaseoloides* e *Calopogonium muconoides* L. contribuíram para o aumento do COT do solo.

Já a irrigação se destaca por apresentar ação dualística. O efeito da irrigação depende de como essa prática influi nos componentes de adição e perda de C (BONA *et al.*, 2006). Informações referentes às implicações da irrigação nos processos que comandam a decomposição e acúmulo da matéria orgânica em solos de regiões semiáridas são escassas. Normalmente a irrigação resulta no aumento da produção de biomassa vegetal, podendo ser indicativo de que o aporte de resíduos culturais nas áreas irrigadas é maior. Porém, por aumentar o conteúdo de água no solo, a irrigação pode intensificar a taxa de decomposição microbiana do material orgânico reduzindo o conteúdo de C presente no solo, principalmente nas regiões mais áridas, pois com o uso da irrigação as condições de umidade tornam-se mais favoráveis à ação dos microrganismos (BONA *et al.*, 2006).

Estratégias de manejo que visam a conservação do solo, além do aporte de C e N podem, em curto prazo, contribuir para a diminuição das concentrações de CO₂ e N₂O na atmosfera, ao mesmo tempo em que manejos incorretos podem acarretar aumento da emissão desses gases (LAL, 2004). Como o principal meio de ingresso do C derivado do CO₂ da atmosfera para o solo é a fotossíntese vegetal, os resíduos das culturas são a principal fonte de C orgânico no solo (URQUIAGA *et al.*, 2006). As plantas absorvem CO₂ da atmosfera e o incorporam na biomassa por meio da fotossíntese. Parte deste carbono retorna para atmosfera; no entanto, a outra parte, quando mantida acima e abaixo do solo, na forma de adubo verde ou cobertura morta, passa a constituir um excelente reservatório de C. Parte dessa biomassa é incorporada ao solo na forma de húmus, aumentando o reservatório de C orgânico do solo (LEITE; PETRESE; SAGRILO, 2010).

Costa *et al.* (2008) observaram que a adição de resíduos vegetais aumentou os estoques de C orgânico no solo, os quais passaram de 27,8 t ha⁻¹ para 36,1 t ha⁻¹. Os mesmos autores observaram também que em solos cultivados em sistema de preparo convencional, o balanço de C foi sempre negativo, evidenciando que o solo cultivado

neste sistema de preparo atuou como fonte de C-CO₂ para a atmosfera, independentemente da cultura adotada.

Grande parte da MOS consiste em uma série de compostos ácidos não-humificados e macromoléculas humificadas. O primeiro grupo é representado pelos compostos orgânicos, incluindo carboidratos, gorduras, ceras e proteínas, e constituem de 10 a 15% da MOS; o segundo grupo, e principal, é representado pelas substâncias húmicas, que constituem de 85 a 90% da MOS (PINHEIRO; PEREIRA; ANJOS, 2004). Isso explica o fato de parte considerável da pesquisa com matéria orgânica estar voltada para o estudo das frações húmicas do solo (BARRETO *et al.*, 2008).

As substâncias húmicas compreendem os ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina. Os ácidos fúlvicos (AF), menos humificados, são compostos de maior solubilidade por apresentarem maior polaridade e menor tamanho molecular; são os principais responsáveis por mecanismos de transporte de cátions no solo. A habilidade do solo em desenvolver carga negativa correlaciona-se fortemente com os ácidos húmicos e fúlvicos, tendo os ácidos fúlvicos maior contribuição (Mendonça *et al.*, 2006). Os ácidos húmicos (AH) são os compostos mais estudados e apresentam pouca solubilidade na acidez normalmente encontrada em solos tropicais, favorecem a agregação e a estabilidade dos agregados pela formação de complexos organominerais (OADES, 1984). A humina (H), apesar de apresentar baixa reatividade, é responsável pela agregação das partículas e, na maioria dos solos de regiões tropicais, representa boa parte do C humificado do solo (BENITES; MADARI; MACHADO, 2003).

As substâncias húmicas são responsáveis por diversos efeitos no solo (STEVENSON, 1994). Segundo Ronquim (2010), as substâncias húmicas são responsáveis pela capacidade de troca de cátions (CTC) dos solos em razão do maior número de cargas negativas do que positivas desses colóides. De acordo com Fontana *et al.* (2010), o uso de materiais orgânicos pode melhorar a agregação do solo, visto que as substâncias húmicas, principalmente os AH, têm efeito benéfico na estabilidade dos agregados devido o seu efeito cimentante. Os autores observaram também que houve correlação positiva entre o diâmetro dos agregados e as frações AH e H. Piccolo, Pietramellara e Mbagwu (1997), verificaram que após a aplicação de 200 Kg ha⁻¹ de AH em solos do norte da Itália, houve aumento da agregação quando submetidos a seções de umedecimento e secagem.

O manejo do solo exerce influência no conteúdo de C das substâncias húmicas. Loss *et al.* (2010) quantificando o C das substâncias húmicas em sistemas de

uso do solo e épocas de avaliação, concluíram que o sistema plantio direto aumenta os teores de C-AH, nas duas profundidades (0-5 cm e 5-10 cm) e nas duas estações (inverno e verão), quando comparado ao preparo convencional do solo. Os autores concluíram também que o sistema convencional propicia maiores teores de C-AF, na profundidade de 5-10 cm, nas duas estações, quando comparado ao sistema plantio direto. As substâncias húmicas representam mais de 80% do C presente no solo (STEVENSON, 1994).

Com base no que foi exposto, o presente estudo foi realizado para comprovar as seguintes hipóteses: *i*) as maiores lâminas de irrigação influenciam no teor de COT do solo; *ii*) os adubos verdes resultam em diferentes valores de COT no solo; *iii*) a maior parte do C orgânico está presente nas frações menos estáveis da matéria orgânica; *iv*) os adubos verdes resultam em MOS com diferentes graus de humificação.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Localização da área experimental

O estudo foi desenvolvido em um experimento instalado em 2010 e que tem sido conduzido na fazenda experimental Vale do Curú, pertencente à Universidade Federal do Ceará, localizada no município de Pentecoste - CE, distante a 100 km da capital Fortaleza.

O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é BSw'h', semiárido com chuvas irregulares, com precipitação média anual de 797,0 mm concentrada nos meses de janeiro a abril, temperatura média anual máxima e mínima de 33,4°C, e 22,4°C, respectivamente e umidade relativa média do ar de 80% (ARAÚJO *et al.*, 2012). O solo da área experimental foi classificado como Neossolo Flúvico (EMBRAPA, 2006) e sua caracterização físico-química é apresentada na Tabela 1. Essa caracterização foi realizada em amostras de solo coletadas antes da instalação do experimento.

Tabela 1- Atributos químicos e físicos de duas camadas do solo da área experimental

Atributos	Profundidade (cm)	
	0 – 20	20 – 40
pH (H ₂ O)	7,0	7,3
MO (g kg ⁻¹)	13,9	12,8
P (mg kg ⁻¹)	27,0	21,0
CE (dS m ⁻¹)	0,5	0,3
Ca ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	8,5	9,7
Mg ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	2,4	2,0
Na ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	0,4	0,4
K ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	0,3	0,2
H ⁺ + Al ³⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	1,0	1,0
Al ³⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	0,1	0,1
C (g kg ⁻¹)	8,0	7,4
N (g kg ⁻¹)	0,8	0,8
S (cmol _c kg ⁻¹)	11,6	12,3
CTC (cmol _c kg ⁻¹)	12,6	13,3
V (%)	92,0	92,0
PST	3,0	3,0
Areia Grossa (g kg ⁻¹)	24,0	26,0
Areia Fina (g kg ⁻¹)	403,0	414,0
Silte (g kg ⁻¹)	399,0	410,0
Argila (g kg ⁻¹)	174,0	150,0
Umidade - 0,033 Mpa (g 100g ⁻¹)	23,4	21,8
Umidade - 1,5 Mpa (g 100g ⁻¹)	9,7	8,9
Classe textural	Franco	Franco

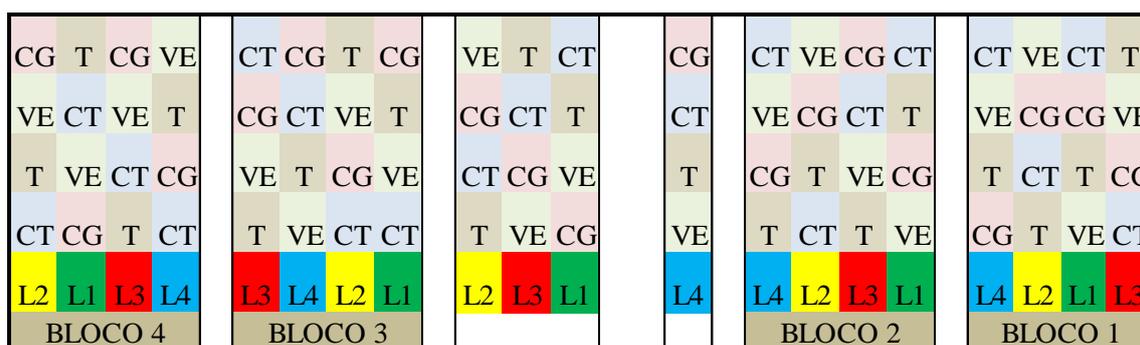
Fonte: Barbosa, 2012

3.2.2 Delineamento experimental

Para avaliações referentes ao COT e teores de C nas frações químicas da MOS o delineamento experimental foi em blocos casualizados em parcelas subsubdivididas, com quatro repetições. Os tratamentos que foram avaliados nas parcelas foram quatro lâminas de irrigação (50, 75, 100 e 125 % da evapotranspiração da cultura - ETC) (FIGURA 2). Nas subparcelas foram avaliados os seguintes tratamentos: manejo convencional onde o material de cobertura foi o resíduo da própria bananeira (T), cobertura do solo com vegetação espontânea (VE), cobertura do solo com *Pueraria phaseoloides* (CT) e cobertura do solo com *Calopogonium muconoides* L. (CG); totalizando 64 unidades experimentais. Nas subsubparcelas foram avaliadas duas profundidades das camadas de solo (0-5 cm e 5-10 cm).

As parcelas (12 x 40 m) foram constituídas por quatro fileiras de bananeira cv Prata Anã, plantadas em sistema de fileiras simples com espaçamento de 3 x 2 m, sendo constituídas por 80 plantas. Cada parcela foi dividida em quatro subparcelas (12 x 10 m) com vinte plantas, sendo as seis plantas centrais consideradas como úteis. A disposição dos tratamentos com lâminas de irrigação e consórcios está apresentada na Figura 1.

Figura 1- Croqui da área experimental



Fonte: Barbosa, 2012

L1- 50% da ETC

L2- 75% da ETC

L3- 100% da ETC

L4- 125% da ETC

CG - *Calopogonium muconoides* L

CT - *Pueraria phaseoloides*

T - Convencional

VE – Vegetação Espontânea

3.2.3 Condução da área experimental

Detalhes da condução da área experimental desde sua instalação em 2010 estão descritos em Barbosa (2012). As avaliações referentes ao presente estudo foram realizadas em julho de 2012, quando já havia sido realizada a primeira colheita no bananal e três cortes nos adubos verdes. Após o corte, o resíduo vegetal foi depositado nas linhas de plantio da bananeira sem ser incorporado.

3.2.4 Coleta das amostras

As amostras de solo foram coletadas setenta dias após o corte dos adubos verdes em duas profundidades (0 – 5 cm e 5 – 10 cm), direcionando a coleta nas linhas de plantio das bananeiras, local onde o resíduo vegetal foi depositado, aproximadamente a 20 cm de distância do pseudocaule.

3.2.5 Procedimentos analíticos

O COT foi determinado de acordo com o método descrito em Mendonça e Matos (2005). As amostras de solo foram trituradas em almofariz, quantificando-se o carbono por oxidação via úmida com dicromato de potássio [$K_2Cr_2O_7$] $0,167 \text{ mol L}^{-1}$ em meio sulfúrico, empregando-se como fonte de energia o calor desprendido pelo ácido sulfúrico [H_2SO_4] e uma fonte externa de aquecimento utilizando bloco de digestão em temperatura de 170°C durante 30 minutos. O excesso de dicromato, após a oxidação, foi titulado com solução de sulfato ferroso amoniacal [$Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$] $0,20 \text{ mol L}^{-1}$, utilizando a solução o-fenantrolina e $FeSO_4$ como indicadora.

O fracionamento químico da matéria orgânica foi realizado de acordo com o método descrito em Mendonça e Matos (2005). O método baseia-se na solubilidade diferencial das frações AF, AH e H em meio ácido e alcalino. Na determinação do C das frações AF e AH foram utilizados 5 ml do extrato obtido após o fracionamento, sendo o mesmo submetido a oxidação via úmida usando $K_2Cr_2O_7$ $0,033 \text{ mol L}^{-1}$ em meio sulfúrico, empregando-se como fonte de energia o calor desprendido pelo H_2SO_4 e bloco de digestão em temperatura de 170°C . O excesso de dicromato, após a oxidação, foi titulado com solução de $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ $0,03 \text{ mol L}^{-1}$, utilizando a solução o-

fenantrolina e FeSO_4 como indicadora. Para determinação do C da fração H, foi adotado o mesmo procedimento utilizado na determinação de C total do solo.

3.2.6 Análise estatística

As variáveis estudadas foram analisadas estatisticamente por meio do emprego do programa Assistat onde foi feita análise de variância pelo teste F e em seguida foi aplicado o teste de Tukey para a comparação de médias.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Carbono orgânico total

Na Tabela 2 encontra-se o resumo da análise de variância para o COT, podendo-se constatar efeitos significativos para a maioria das variáveis estudadas.

Tabela 2 - Resumo da análise de variância para o COT.

Tabela de Variância				
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamento - a (Ta)	3	42,22273	14,07424	236,7284 **
Resíduo - a	12	0,71344	0,05945	
Parcelas	15	42,93617		
Tratamento - b (Tb)	3	1171,5502	390,5167	15443,7106 **
Interação Ta x Tb	9	0,08357	0,09286	3,6722 **
Resíduo - b	36	0,91031	0,02529	
Subparcelas	63	1216,2324		
Tratamento - c (Tc)	1	73,35633	73,35633	402411,86 **
Interação Ta x Tc	3	0,00523	0,00174	9,5714 **
Interação Tb x Tc	3	0,19523	0,06508	357,0000 **
Interação TaTbTc	9	0,00945	0,00105	5,7619 **
Resíduo - c	48	0,00875	0,00018	
Total	127	1289,8074		

FV: fontes de variação; GL: grau de liberdade; SQ: soma de quadrado; QM: quadrado médio; F: estatística do teste F. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0.01$). Ta: lâminas de irrigação; Tb: adubos verdes; Tc: profundidades de amostragem.

Houve efeito da interação entre lâminas de irrigação, adubo verde e profundidade (TABELA 2). As maiores médias de COT foram observadas na camada mais superficial do solo, nas parcelas com *Pueraria phaseoloides* (CT) e nas duas menores lâminas de irrigação (TABELA 3).

Tabela 3 – Teores médios de COT no solo em função das lâminas de irrigação, adubos verdes e profundidade de amostragem.

Profundidade	Lâminas de irrigação				Adubo verde			
	1	2	3	4	CT	CG	VE	T
	-----g Kg ⁻¹ -----							
1	16,4 aA	16,4 aA	15,5 bA	15,1 cA	19,2 aA	13,0 cA	18,5 bA	12,7 dA
2	14,9 aB	14,9 aB	13,9 bB	13,6 cB	17,8 aB	11,4 cB	16,9 bB	11,2 dB

Profundidade 1 e 2: amostras coletadas nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, respectivamente. Lâminas 1, 2, 3 e 4: lâminas de irrigação com 50, 75, 100 e 125 % da ETC. CT: consórcio das bananeiras com *Pueraria phaseoloides*; CG: consórcio das bananeiras com *Calopogonium muconoides* L; VE: consórcio das bananeiras com vegetação espontânea; T: testemunha (resíduo das bananeiras); Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas e da mesma letra maiúscula nas colunas (para lâminas de irrigação e adubo verde isoladamente) não diferem estatisticamente entre si ao nível de 1% de probabilidade de acordo com teste F e de Tukey.

Na Tabela 4 estão apresentadas as médias de COT da interação entre lâminas de irrigação e adubos verdes. As maiores médias de COT foram observadas para a *Pueraria phaseoloides* e as duas menores lâminas de irrigação.

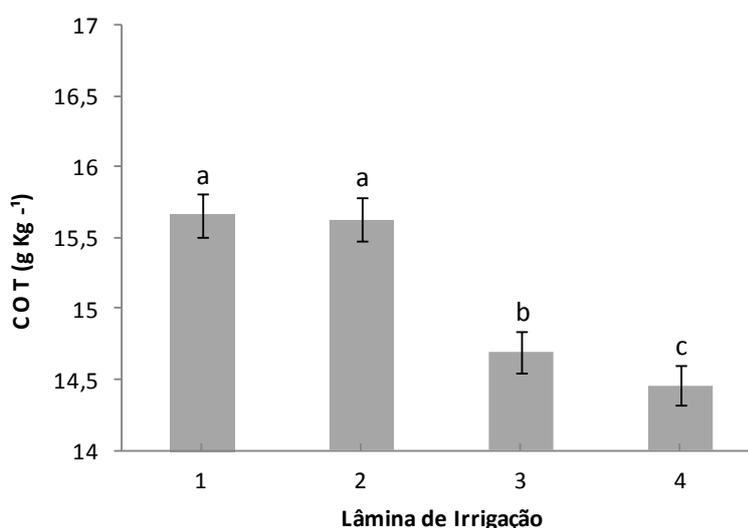
Tabela 4 – Médias de COT da interação entre lâminas de irrigação e adubos verdes.

Lâminas	Adubo verde			
	CT	CG	VE	T
	-----g Kg ⁻¹ -----			
1	19,2 aA	12,8 aC	18,2 aB	12,5 aD
2	19,1 aA	12,8 aC	18,2 aB	12,5 aD
3	17,9 bA	11,8 bC	17,5 bB	11,6 bC
4	17,6 cA	11,5 cC	17,0 cB	11,3 cC

Lâminas 1, 2, 3 e 4: lâminas de irrigação com 50, 75, 100 e 125 % da ETC. CT: consórcio das bananeiras com *Pueraria phaseoloides*; CG: consórcio das bananeiras com *Calopogonium muconoides* L; VE: consórcio das bananeiras com vegetação espontânea; T: testemunha (resíduo das bananeiras); Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e da mesma letra maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si ao nível de 1% de probabilidade de acordo com teste F e de Tukey.

Analisando o efeito isolado da irrigação no COT (FIGURA 2), observa-se que os maiores teores ocorreram associados às duas menores lâminas de irrigação.

Figura 2 – Carbono orgânico total do solo em função das diferentes lâminas de irrigação (50, 75, 100 e 125 % da ETC, respectivamente).



Como não foi constatado efeito das lâminas de irrigação na produção de matéria seca pelos adubos verdes, supõe-se que as maiores lâminas de irrigação tenham acelerado o processo de decomposição do C orgânico devido ao aumento da atividade

microbiana. A maior umidade do solo pode ter tornado as condições mais propícias para maior manifestação da microbiota. Esse resultado corrobora com Diógenes *et al.* (2011) que estudaram os atributos microbianos do solo sob cultivo isolado e em integração lavoura pecuária no estado do Piauí. Os autores observaram aumento da atividade microbiana nas áreas que receberam maior quantidade de água por meio da irrigação.

Bona *et al.* (2006), ao avaliarem o C orgânico no solo em sistemas irrigados por aspersão sob plantio direto e preparo convencional, verificaram que a irrigação aumentou a taxa de decomposição da matéria orgânica em 19% no solo sob plantio convencional e em 15% no solo sob plantio direto. Este aumento deveu-se à maior disponibilidade de água para a microbiota heterotrófica. Bloem *et al.* (1992) observaram que aumentos relativamente pequenos no potencial de água foram acompanhados por aumento na atividade microbiana.

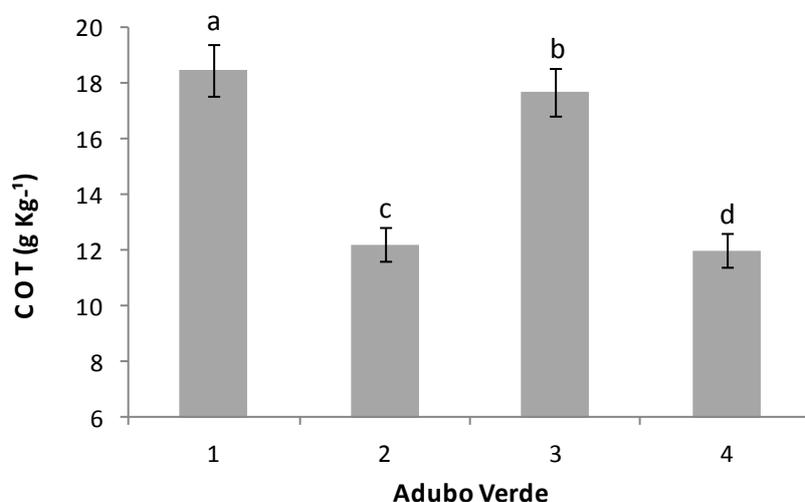
A leguminosa *Pueraria phaseoloides* resultou em maiores teores de COT, pois essa espécie produziu mais biomassa quando comparada ao *Calopogonium muconoides* L., além de possuir menor relação C/N que o tratamento com resíduo da bananeira. Segundo Perin *et al.* (2002), tais características contribuem com o incremento do COT, principalmente quando se maneja a cobertura com roçada e manutenção dos resíduos vegetais na área, potencializando o aporte de matéria orgânica na superfície do solo. Resultado semelhante foi encontrado por Guerra *et al.* (2007) avaliando leguminosas perenes como cobertura do solo. Os autores observaram que as áreas onde a *Pueraria phaseoloides* foi utilizada como adubo verde apresentaram maiores teores de COT associados à elevada produção de biomassa vegetal da espécie. No presente estudo foi constatado que, além do maior teor de COT, o tratamento com *Pueraria phaseoloides* resultou em maior teor de N total e, segundo Macedo (2007), existe correlação positiva entre esses fatores.

Ao comparar os adubos verdes *Pueraria phaseoloides* e *Calopogonium muconoides* L., observa-se que as áreas com *Calopogonium muconoides* L. apresentaram menores teores de COT, principalmente quando associado às maiores lâminas de irrigação. Supõe-se que o tratamento com essa leguminosa (*Calopogonium muconoides* L) tenha promovido maior quantidade de carbono orgânico dissolvido (COD) que possivelmente foi lixiviado para camadas não amostradas mediante maiores lâminas de irrigação reduzindo os teores de COT. O COD, apesar de representar uma pequena fração do COT é uma fração bastante móvel e está envolvida em diversos processos que ocorrem no solo (CHANTIGNY; ANGERS; ROCHETTE, 2002). Lima

(2006) observou que as perdas de COD por lixiviação foram mais intensas após a aplicação da lâmina de água. Marques *et al.* (2012), verificaram que no período chuvoso, o COD apresenta concentrações mais elevadas em profundidade do que no período seco, o que indica lixiviação do mesmo.

O tratamento representado pela vegetação espontânea apresentou o segundo maior teor de COT no solo. A vegetação espontânea da área experimental foi constituída, em sua maioria, por gramíneas (*Panicum maximum* Jacq); além disso, essa vegetação produziu biomassa vegetal estatisticamente semelhante à *Pueraria phaseoloides* e possui menor relação C/N que o tratamento com resíduo da bananeira. Essas características parecem ter corroborado para o segundo maior teor de COT no solo. As gramíneas apresentam relação C/N mais elevada do que as leguminosas e isso faz com que a sua decomposição seja mais lenta, parcelando a liberação de C para o solo.

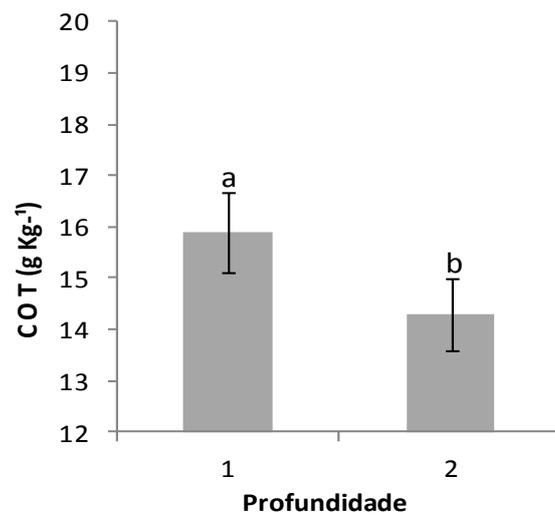
Figura 3 – Carbono orgânico total do solo em função das espécies utilizadas como adubo verde (1: *Pueraria phaseoloides*, 2: *Calopogonium muconoides* L, 3: Vegetação espontânea com predomínio de *Panicum maximum* Jacq e 4: Resíduo da bananeira).



Analisando o efeito da profundidade no COT observa-se que a camada superficial (0 – 5 cm) apresentou maiores teores, diferindo da camada subsuperficial, independente do adubo verde e da lâmina de irrigação (TABELA 3) (FIGURA 4). Isso é consequência do manejo adotado, uma vez que não houve incorporação dos adubos verdes, contribuindo com o maior teor de COT na camada superficial que ficou diretamente em contato com o resíduo em decomposição. Segundo Leite *et al.* (2003), os resíduos orgânicos depositados no solo são essenciais no processo de adição de C

orgânico ao longo do tempo. Esse resultado foi condizente com o encontrado por Guareschi, Pereira e Perin (2012) que observaram maior COT na camada superficial em áreas sem revolvimento do solo. Outros autores também observaram maior COT nas camadas superficiais do solo, em solos sob diferentes usos (Diógenes *et al.*, 2011; Iwata *et al.*, 2012; Matoso *et al.*, 2012).

Figura 4 – Carbono orgânico total em função da profundidade do solo (1: 0-5 cm, 2: 5-10 cm).



3.3.2 Fracionamento químico da matéria orgânica

Na Tabela 5 está o resumo da análise de variância para o teor de COT nas frações das substâncias húmicas.

Tabela 5 – Resumo da análise de variância para o teor de COT nas frações das substâncias húmicas.

Tabela de Variância				
Ácido Fúlvico (AF)				
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamento - a (Ta)	3	0,01938	0,00646	1,2568 ns
Tratamento - b (Tb)	3	125,58938	41,86313	2724,6508 **
Tratamento - c (Tc)	1	20,80125	20,80125	3195,0720 **
Interação Ta x Tb	9	0,0325	0,00361	0,2350 *
Interação Ta x Tc	3	0,00312	0,00104	0,1600 ns
Interação Tb x Tc	3	0,51437	0,17146	26,3360 **
Interação TaTbTc	9	0,02875	0,00319	0,4907 ns
Ácido Húmico (AH)				
Tratamento - a (Ta)	3	0,06586	0,02195	1,9992 ns
Tratamento - b (Tb)	3	136,51461	45,50487	3182,8543 **
Tratamento - c (Tc)	1	10,18133	10,18133	1362,2404 **
Interação Ta x Tb	9	0,02945	0,00327	0,2289 *
Interação Ta x Tc	3	0,04711	0,0157	2,1010 ns
Interação Tb x Tc	3	0,32836	0,10945	14,6446 **
Interação TaTbTc	9	0,01945	0,00216	0,2892 ns
Humina (H)				
Tratamento - a (Ta)	3	0,05398	0,01799	2,0383 ns
Tratamento - b (Tb)	3	8.767,961	29,22654	2875,2323 **
Tratamento - c (Tc)	1	16,6032	16,6032	2221,4739 **
Interação Ta x Tb	9	0,0182	0,00202	0,1990 *
Interação Ta x Tc	3	0,00273	0,00091	0,1220 ns
Interação Tb x Tc	3	3,73086	1,24362	166,3937 **
Interação TaTbTc	9	0,03945	0,00438	0,5865 ns

FV: fontes de variação; GL: grau de liberdade; SQ: soma de quadrado; QM: quadrado médio; F: estatística do teste F. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0.01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0.01 \leq p < 0.05$); ns não significativo ($p \geq 0.05$). Ta: lâminas de irrigação; Tb: adubos verdes; Tc: profundidades de amostragem.

Para os teores de COT nas frações da MOS não houve interação significativa ($p < 0,05$) entre lâminas de irrigação, adubos verdes e profundidade de amostragem. Na Tabela 6 são apresentadas as médias dos teores de COT presentes nas frações químicas da MOS em função da interação entre lâminas de irrigação e adubos verdes. Para as frações AF, AH e H as maiores médias foram observadas no tratamento

com *Pueraria phaseoloides*. Isso pode ser explicado pelo maior aporte de biomassa vegetal e maior velocidade de decomposição em virtude da utilização dessa espécie.

Tabela 6 - Valores médios do COT nas frações ácidos fúlvicos (C-AF), ácidos húmicos (C-AH) e humina (C-H), porcentagem do COT em cada fração em relação ao total e relação entre as frações ácidos húmicos e ácidos fúlvicos (AH/AF).

Lâmina	Adubo Verde							
	CT							
	COT	C-AF	C-AH	C-H	AF	AH	H	AH/AF
	-----g Kg ⁻¹ -----				-----%-----			
L1	19,2	6,20 aA	5,65 aA	4,10 aA	32,3	29,4	21,4	0,91
L2	19,14	6,16 aA	5,61 aA	4,08 aA	32,2	29,3	21,3	0,91
L3	17,98	6,16 aA	5,58 aA	4,09 aA	34,3	31	22,7	0,90
L4	17,63	6,20 aA	5,65 aA	4,10 aA	35,2	33,4	23,3	0,91
Média								0,91 a
	CG							
	COT	C-AF	C-AH	C-H	AF	AH	H	AH/AF
		-----g Kg ⁻¹ -----				-----%-----		
L1	12,78	4,18 aC	3,50 aC	2,26 aC	32,7	27,4	17,7	0,84
L2	12,75	4,18 aC	3,46 aC	2,21 aC	32,8	27,1	17,3	0,83
L3	11,78	4,19 aC	3,46 aC	2,28 aC	35,6	29,4	19,4	0,83
L4	11,5	4,18 aC	3,48 aC	2,25 aC	36,4	30,3	19,6	0,83
Média								0,83 b
	VE							
	COT	C-AF	C-AH	C-H	AF	AH	H	AH/AF
		-----g Kg ⁻¹ -----				-----%-----		
L1	18,23	5,73 aB	5,21 aB	3,58 aB	31,4	28,6	19,6	0,91
L2	18,18	5,74 aB	5,16 aB	3,56 aB	31,6	28,4	19,6	0,89
L3	17,45	5,76 aB	5,21 aB	3,63 aB	33	29,9	20,8	0,90
L4	17	5,75 aB	5,23 aB	3,61 aB	33,8	30,8	21,2	0,91
Média								0,90 a
	T							
	COT	C-AF	C-AH	C-H	AF	AH	H	AH/AF
		-----g Kg ⁻¹ -----				-----%-----		
L1	12,45	3,85 aD	3,30 aD	2,20 aC	30,9	26,5	17,7	0,86
L2	12,48	3,81 aD	3,24 aD	2,15 aC	30,5	25,9	17,2	0,85
L3	11,58	3,90 aC	3,24 aD	2,23 aC	33,7	27,9	19,3	0,83
L4	11,3	3,88 aC	3,31 aD	2,23 aC	34,3	29,3	19,7	0,85
Média								0,84 b

Lâminas 1, 2, 3 e 4: lâminas de irrigação com 50, 75, 100 e 125 % da ETC. CT: consórcio das bananeiras com *Pueraria phaseoloides*; CG: consórcio das bananeiras com *Calopogonium muconoides*; VE: consórcio das bananeiras com vegetação espontânea; T: testemunha (resíduo das bananeiras); COT: Carbono orgânico total do solo; AF: ácidos fúlvicos; AH: ácidos húmicos; H: humina. Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas dentro de cada adubo verde e da mesma letra maiúscula entre os adubos verdes não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade de acordo com teste F e de Tukey. E médias seguidas da mesma letra minúscula na relação AH/AF entre os adubos verdes não diferem estatisticamente entre si ao nível de 1% de probabilidade de acordo com teste F e de Tukey.

A produção de biomassa vegetal da *Pueraria phaseoloides* foi estatisticamente maior do que a do *Calopogonium muconoides* L. e numericamente maior do que a vegetação espontânea. A *Pueraria phaseoloides* apresentou também velocidade de decomposição mais rápida em relação à vegetação espontânea e aos resíduos da bananeira. Não foram verificadas diferenças estatísticas significativas entre as lâminas de irrigação.

A fração AF é a que contém maior parte do CO do solo, com destaque para o tratamento com *Pueraria phaseoloides* que resultou nas maiores médias dessa fração. Nota-se que a fração AF, que é a mais solúvel da MOS, foi correspondente a 30,5 a 36,4% do CO presente na superfície do solo (TABELA 6). Esse resultado corrobora com os de outros autores que também verificaram maior teor de CO na fração AF (MELO, SILVA e DIAS, 2008., MIRANDA, CANELLAS e NASCIMENTO, 2007 e RUIVO *et al.*, 2002). Segundo Silva *et al.* (2009) os AF contêm compostos facilmente degradáveis como polissacarídeos, sendo os primeiros compostos a sofrer ataque microbiano, apresentando assim baixa recalcitrância.

A fração H foi a que apresentou menor conteúdo de CO independente do adubo verde e da lâmina de irrigação aplicada. O teor de CO nessa fração variou de 2,15 a 4,10 g Kg⁻¹. A fração H é a fração remanescente após extração dos AH e AF e apresenta como características elevada insolubilidade e recalcitrância; sendo assim considerada a fração mais estável da MOS (SCHIAVO *et al.*, 2007). No presente estudo a percentagem dessa fração no COT do solo variou de 17,2 a 23, 3%. De acordo com Canellas *et al.* (2003), a percentagem de C na fração H em relação ao COT inferior a 45% sugere a presença de húmus pouco evoluído, ou seja, fraca humificação.

O teor de CO na fração AH foi maior do que na fração H e menor que a fração AF independente do adubo verde e lâmina de irrigação aplicada, variando de 3,24 a 5,65 g Kg⁻¹. Os AH são os compostos mais estudados da MOS e apresentam pouca solubilidade na acidez normalmente encontrada em solos tropicais (BARRETO *et al.*, 2008). A percentagem de carbono na fração AH em relação ao COT do solo variou de 25,9 a 33,4%.

De modo geral, foram observados valores mais elevados para a fração AF quando comparada com a fração AH e relação AH/AF menor que um. Observando a relação AH/AF mediante utilização dos diferentes adubos verdes, constata-se valores mais próximos a um associados aos tratamentos com *Pueraria phaseoloides* e vegetação espontânea, não havendo diferença estatística significativa ($p < 0,01$) entre esses adubos

(TABELA 6). Segundo Canellas e Santos (2005) a razão AH/AF, também chamada de grau de polimerização (SILVA *et al.*, 2009), é utilizada como indicador do grau de humificação do solo. Valores maiores que um são indicativos de níveis mais elevados de transformação da MOS, com a predominância de AH. Quanto maior essa razão, maior o grau de humificação resultando em melhor qualidade do solo.

Em solos de regiões tropicais, a relação AH/AF normalmente é inferior a um em razão da elevada taxa de decomposição dos resíduos vegetais (BARROS *et al.*, 2012). Miranda, Canellas e Nascimento (2007) observaram maiores valores para a fração AF em solos de fragmentos de Mata Atlântica e plantio abandonado de eucalipto, conferindo valores para a razão AH/AF menores que um.

Para o tratamento com *Pueraria phaseoloides* a média da relação AH/AF foi de 0,91 e a porcentagem de C na fração H variou de 21,3 a 23,3 %. Para o tratamento com *Calopogonium muconoides* L. a média da relação AH/AF foi de 0,83 e a porcentagem de C na fração H variou de 17,3 a 19,6 %. No tratamento com vegetação espontânea a média da relação AH/AF foi de 0,90 com porcentagem de C na fração H variando de 19,6 a 21,2 %. Já para o tratamento com resíduos da bananeira a média da relação AH/AF foi de 0,84 com porcentagem de C na fração H variando de 17,2 a 19,7. A baixa razão AH/AF, associada com a menor porcentagem de C na fração H em relação ao COT (< 45%), indica fraca humificação do material orgânico aportado sobre o solo (CANELLAS *et al.*, 2003). Possivelmente, o tempo de condução do experimento no presente estudo não foi suficiente para garantir completa humificação do material vegetal aportado. Pesquisas têm demonstrado que a fração AH e a razão AH/AF geralmente aumentam durante o período de decomposição da MOS, evidenciando a completa humificação da mesma (ROLETTO; CERRUTI; BARBERIS, 1985). O aumento no grau de polimerização indica maior quantidade de substâncias mais complexas (AH) e redução nos componentes que são mais facilmente degradados pelos microrganismos (AF) (SILVA *et al.*, 2009).

A Tabela 7 apresenta médias de teores de CO presente nas frações químicas da MOS em função da interação entre adubos verdes e profundidade de amostragem. Houve decréscimo no teor de C das frações químicas da MOS com o aumento da profundidade. Isso pode ser consequência do manejo, uma vez que não foi feita a incorporação dos resíduos vegetais. Pinheiro, Pereira e Anjos (2004) afirmaram que, dependendo do manejo do solo, o teor de C pode ser maior nos primeiros cinco centímetros ou mais uniforme em profundidade. Canellas *et al.* (2003) e Loss *et al.*

(2007) também verificaram redução no teor de C das frações químicas da MOS com o aumento da profundidade, corroborando com o resultado encontrado na presente pesquisa. Não houve efeito significativo ($p < 0,05$) da interação entre lâminas de irrigação e profundidade.

Tabela 7 – Carbono orgânico nas frações químicas da MOS em função da interação entre adubos verdes e profundidade.

Adubo verde	Profundidade					
	1			2		
	AF	AH	H	AF	AH	H
	-----g Kg ⁻¹ -----					
CT	6,54 aA	5,83 aA	4,64 aA	5,83 aB	5,42 aB	3,54 aB
CG	4,51 cA	3,78 cA	2,49 cA	3,85 cB	3,17 cB	2,01 cB
VE	6,19 bA	5,48 bA	4,10 bA	5,30 bB	4,93 bB	3,09 bB
T	4,34 dA	3,61 dA	2,34 dA	3,38 dB	2,93 dB	2,06 cB

Profundidade 1 e 2: amostras coletadas nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, respectivamente. CT: consórcio das bananeiras com *Pueraria phaseoloides*; CG: consórcio das bananeiras com *Calopogonium muconoides* L; VE: consórcio das bananeiras com vegetação espontânea; T: testemunha (resíduo das bananeiras); AF: ácidos fúlvicos; AH: ácidos húmicos; H: humina. Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas e da mesma letra maiúscula nas colunas não diferem estatisticamente entre si ao nível de 1% de probabilidade de acordo com teste F e de Tukey.

3.4 CONCLUSÕES

Para as condições estudadas, as maiores lâminas de irrigação promoveram menor teor de COT do solo em todos os adubos verdes.

Os maiores teores de COT foram proporcionados pelo tratamento com a leguminosa *Pueraria phaseoloides*.

A maior parte do C orgânico concentra-se nas frações menos estáveis, principalmente na forma de AF, sendo a mesma a fração mais abundante entre as frações químicas da matéria orgânica.

Os tratamentos com *Pueraria phaseoloides* e vegetação espontânea apresentaram maior grau de humificação com valores mais próximos de um, resultando em material mais humificado.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, H. F.; COSTA, R. N. T.; CRISÓSTOMO, J. R.; SAUNDERS, L. C. U.; MOREIRA, O. C.; MACEDO, A. B. M. Produtividade e análise de indicadores técnicos do maracujazeiro-amarelo irrigado em diferentes horários. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 2, p.159–164, fevereiro, 2012.

BARROS, K. R. M.; LIMA, H. V.; CANELLAS, L. P.; KERN, D. C. Fracionamento químico da matéria orgânica e caracterização física de Terra Preta de Índio. **Revista de Ciências Agrárias**, Manaus, v. 55, n. 1, p. 44-51, janeiro/março, 2012.

BARBOSA, F. E. L. **Crescimento, fisiologia e produção da bananeira prata anã associada a plantas de cobertura e lâminas de irrigação**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

BARRETO, A. C.; FREIRE, M. B. G. S.; NACIF, P. G. S.; ARAÚJO, Q. R.; FREIRE, F. J.; INÁCIO, E. S. B. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p.1471-1478, julho/agosto, 2008.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.599-607, junho, 2000.

BENITES, V.M.; MADARI, B.; MACHADO, P.L.O.A. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: Um procedimento simplificado de baixo custo. **Comunicado Técnico**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2003. 7p.

BLOEM, J.; RUITER, P.C.; KOOPMAN, G.J.; LEBBINK, G.; BRUSSAARD, L. Microbial numbers and activity in dried and rewetted arable soil under integrated and conventional management. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 24, n. 7, p.655-665, July, 1992.

BONA, F. D. de; BAYER, C; BERGAMASCHI, H; DIECKOW, J. Carbono orgânico no solo em sistemas irrigados por aspersão sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 911-920, setembro/outubro, 2006.

CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A. **Humosfera: Tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas**. Universidade Estadual do Norte Fluminense, Seropédica, 2005.

CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de

vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p.935-944, setembro/outubro, 2003.

CHANTIGNY, M. H.; ANGERS, D. A.; ROCHETTE, P. Fate of carbon and nitrogen from animal manure and crop residues in wet and cold soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 34, n. 4, p. 509-517, abril, 2002.

COSTA, F. S.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 323-332, janeiro/fevereiro, 2008.

D'ANDRÉIA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; GUILHERME, L. R. G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.2, p.179-186, fevereiro, 2004.

DIÓGENES, L. C.; LUSTOSA FILHO, J. F.; NÓBREGA, J. C. A.; NÓBREGA, R. S. A.; PRAGANA, R. B.; MATIAS, S. S. R.; AMARAL, F. H. C.; SILVA, J. L. Atributos microbianos do solo sob cultivo isolado e em integração lavoura pecuária no Piauí. In: XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. **Anais...**31 de Julho a 5 de Agosto de 2011, Uberlândia – Minas Gerais, Brasil.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2ª ed. Rio de Janeiro, p.306, 2006.

FARIA, G. E.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico total e frações da matéria orgânica do solo em diferentes distâncias do tronco de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 80, p. 265-277, dezembro, 2008.

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

FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. O. A.; GUIMARÃES, C. M.; SILVA, C. A.; FADIGAS, F. S. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 425-434, 2002.

FONTANA, A.; BRITO, R. J.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A. Índices de agregação e a relação com as substâncias húmicas em Latossolos e Argissolos de tabuleiros costeiros, Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 5, n. 3, p. 291-297, julho/setembro, 2010.

GUARESCHI, R.; PEREIRA, M.; PERIN, A. Estoque de carbono em Latossolo Vermelho Distroférico sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 7, n. 4, p. 597-602, outubro/dezembro, 2012.

GUERRA, J. G. M; ESPÍNDOLA, J. A. A; PERIN, A; TEIXEIRA, M. G; ALMEIDA, D. L. de; ASSIS, R. L. de. Desempenho de leguminosas tropicais perenes como plantas de cobertura do solo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. **Embrapa-Agrobiologia**, Seropédica, v. 20, p. 39, 2007.

IWATA, B. F.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; NUNES, L. A. P.; GEHRING, C.; CAMPOS, L. P. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.7, p.730–738, abril, 2012.

LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, Amsterdam, v. 123, n. 2, p. 1 –22, november, 2004.

LEITE, L. F. C; PETRESE, V. G.; SAGRILO, E. Sequestro de carbono em solos da região Semiárida brasileira estimado por modelo de simulação em diferentes sistemas produtivos. In: ICID+18. **Anais... 2ª Conferência internacional: clima, sustentabilidade e desenvolvimento em Regiões Semiáridas 16 – 20 de Agosto de 2010**, Fortaleza - Ceará, Brasil.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; MACHADO, P. L. O. A.; MATOS, E. S. Total C and N storage and organic C pools of a Red-Yellow podzolic under conventional and no tillage at the Atlantic forest zone, Southeastern Brazil. **Australian Journal of Soil Research**, v. 41, n. 4, p. 717-730, 2003.

LIMA, C. C. **Caracterização química de resíduos da produção de biodiesel compostados com adição mineral**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Quantificação do carbono das substâncias húmicas em diferentes sistemas de uso do solo e épocas de avaliação. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 4, p. 913-922, dezembro, 2010.

LOSS, A.; TEIXEIRA, M. B.; OLIVEIRA, A. B.; LIMA, F. M; CRUZ, R. B.; FONTANA, A.; PEREIRA, M. G. Fracionamento químico da matéria orgânica do solo em áreas sob diferentes coberturas vegetais e manejo agroecológico. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Cruz Alta, v. 2, n. 2, p. 1389-1393, outubro, 2007.

MACEDO, M. de O. **Estoque de carbono, nitrogênio e fertilidade do solo em áreas em recuperação com leguminosas e em um sistema de agricultura itinerante de alta produtividade**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2007. 82 p.

MARQUES, J. D. O.; LUIZÃO, F. J.; TEIXEIRA, W. G.; FERREIRA, S. J. F. Variações do carbono orgânico dissolvido e de atributos físicos do solo sob diferentes sistemas de uso da terra na Amazônia central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 611-622, janeiro, 2012.

MATOSO, S. C. G.; SILVA, A. N.; PEREIRA, E. C. F.; COLLETA, Q. P.; MAIA, E. Frações de carbono e nitrogênio de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob

diferentes usos na Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 42, n. 2, p. 231-240, junho, 2012.

MELO, L. C. A.; SILVA, C. A.; DIAS, B. O. Caracterização da matriz orgânica de resíduos de origens diversificadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p.101-110, janeiro/fevereiro, 2008.

MENDONÇA, E. S.; ROWELL, D. L.; MARTINS, A. G.; SILVA, A. P. Effect of pH on the development of acidic sites in clayey and sandy loam Oxisol from the Cerrado Region, Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 132, n. 2, p. 132:131, may, 2006.

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

MIRANDA, C. C.; CANELLAS, L. P.; NASCIMENTO, M. T. Caracterização da matéria orgânica do solo em fragmentos de mata atlântica e em plantios abandonados de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p.905-916, setembro/outubro, 2007.

OADES, J.M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant Soil**, v.76, n. 1-3, p. 319-337, 1984.

PERIN, A.; GUERRA, J. G. M.; TEIXEIRA, M. G.; PEREIRA, M. G.; FONTANA, A. Efeito da cobertura viva com leguminosas herbáceas perenes na agregação de um Argissolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p.713-720, 2002a.
PERIN, A.; LIMA, E. A.; ESPÍNDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; TEIXEIRA, M. G.; BUSQUET, R. N. B. Contribuição da cobertura viva de solo com leguminosas herbáceas perenes no 2º ciclo de produção de bananeiras cultivar Nanicão. **Comunicado Técnico 53**, 2002.

PICCOLO, A.; PIETRAMELLARA, G.; MBAGWU, J.S.C. Use of humic substances as soil conditioners to increase aggregate stability. **Geoderma**, Amsterdam, v. 75, n. 2, p. 267-277, february,1997.

PINHEIRO, E.F.M.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. Aggregate distribution and soil organic matter under different tillage systems for vegetable crops in a Red Latosol from Brazil. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v.77, n. 1, p.1-6, may, 2004.

ROLETTO, E.;CERRUTI, M.; BARBERIS, R. Investigation on humic substances from decomposing spruce bark. **Agricultural Wastes**, Amsterdam, v. 13, n. 2, p.137-148, 1985.

RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento 8**. Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP 2010.

RUIVO, M. L. P.; AMARAL, I. G.; RIBEIRO, E. L. C.; GUEDES, A. L. S. Os solos de uma topossequencia na Ilha de Algodual/Maiandeuá, nordeste do estado do Pará, Brasil: composição química e produção de matéria orgânica. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 32, p. 257-266, 2002.

SCHIAVO, J. A.; CANELLAS, L. P.; MARTINS, M. A.; MATOS, C. R. R. Revegetação de cava de extração de argila com *Acacia mangium*. II - caracterização química da humina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 163-1171, setembro/outubro, 2007.

SCHOLES, R.J.; BREEMEN, N. van. The effects of global change on tropical ecosystems. **Geoderma**, Amsterdam, v.79, n. 1-4, p. 9-24, september,1997.

SILVA, F. A. M.; GUERRERO, L. F.; VILLAS BOAS, R. L.; SILVA, R. B. Transformação da matéria orgânica em substâncias húmicas durante a compostagem de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Cruz Alta, v. 4, n. 1, p. 59-66, 2009.

SMITH, P. Land use change and soil organic carbon dynamics. **Nutrient cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 81, n. 2, p.169-178, june, 2008.

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

TEODORO, R. B.; OLIVEIRA, F. L.; SILVA, D. M. N.; FÁVERO, C.; QUARESMA, M. A. L. Leguminosas herbáceas perenes para utilização como coberturas permanentes de solo na Caatinga Mineira. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 2, p. 292-300, abril/junho, 2011.

URQUIAGA, S; JANTALAIIA, C. P; ZOTARELLI, L; ALVES, B. J. R; BODDEY, R. M. Manejo de sistemas agrícolas para seqüestro de carbono no solo. **Cap. 12**, 2006.