



Acc4thademic

INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION

“INTEGRATING CLEANER PRODUCTION INTO SUSTAINABILITY STRATEGIES”

Potencial Produtivo de Adubos Verdes Visando Rotação com a Cana-De-Açúcar, na Zona da Mata Alagoana

OLIVEIRA, T. B. A.^{a,b*}, BORNIA, A. C.^a, OLIVEIRA, M. W.^b

a. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC

b. Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL

**Autor correspondente, tbalbino@ceca.ufal.br*

Resumo

Em um sistema de produção mais limpo, é imprescindível causar as menores perturbações possíveis ao meio ambiente e otimizar os fatores de produção. No Brasil, a cana-de-açúcar é uma das fontes de energia mais limpas. Entretanto, deve-se estar atento às alterações provocadas pelo sistema de produção da cana, que podem causar deterioração física e química do solo. Para manter a qualidade física e química dos solos cultivados com cana-de-açúcar, recomenda-se a rotação com leguminosas. Estas plantas são as mais indicadas devido à facilidade de seu cultivo, à sua produção de biomassa, ao sistema radicular vigoroso e à sua capacidade de fixar o nitrogênio do ar atmosférico. No presente estudo, avaliou-se, por dois anos, o potencial produtivo de sete adubos verdes, cultivados em Rio Largo, AL, nordeste do Brasil. As sementeiras ocorreram no início de abril e o corte das plantas para avaliação do acúmulo de matéria seca e de nitrogênio foi realizado na fase de formação de sementes de cada adubo. O feijão-guandu fava larga, a mucuna-preta, o feijão-de-porco e a mucuna-cinza foram as plantas que mais acumularam matéria seca e nitrogênio na biomassa da parte aérea, mas os seus ciclos muito longos não permitem rotação com a cana. Por outro lado, as crotalárias júncea, oroleuca e espectabilis tiveram menor potencial produtivo, porém, estas se adaptam bem à rotação com a cana de ano e meio. Assim, a inclusão de uma das crotalárias (júncea, oroleuca ou da espectabilis) numa rotação de cultura com a cana resulta, comparativamente à vegetação natural (espontânea), em maior aporte de matéria seca e de nitrogênio ao solo, contribuindo para otimizar os fatores de produção e mitigar os efeitos da deterioração física e química do solo.

Palavras-chave: *Desenvolvimento sustentável, produção mais limpa, energia, rotação de culturas, ciclagem de nutrientes.*

1. Introdução

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, destinada, principalmente, à produção de açúcar e álcool (RUVIARO et al., 2012). As atividades relacionadas à produção e industrialização da cana estão entre as mais importantes para a economia do país (MASCARENHAS et al., 2008). Dentre os principais impactos socioeconômicos positivos da cana-de-açúcar, pode-se citar: geração de emprego e renda, interiorização do desenvolvimento, aumento de divisas decorrentes das exportações e possibilidade de complementar a crescente demanda energética do País, dependente do petróleo e do gás natural (OLIVEIRA et al., 2012). Os biocombustíveis têm sido apresentados como uma opção importante para o abastecimento de energia, principalmente como substitutos renováveis para os combustíveis fósseis (PEREIRA; ORTEGA, 2010). Assim, em decorrência do estímulo ao consumo desses produtos, principalmente o do álcool anidro (aditivo para a gasolina), na década de 2000,

“INTEGRATING CLEANER PRODUCTION INTO SUSTAINABILITY STRATEGIES”

São Paulo - Brazil - May 22nd to 24th - 2013

constatou-se aumento contínuo do plantio de cana-de-açúcar no País o que contribui para diminuir o uso de produtos derivados do petróleo (MASCARENHAS et al., 2008; SODRÉ, 2008).

A expansão das áreas canavieiras motivou atenção especial das comunidades nacional e internacional, particularmente em relação aos impactos ambientais advindos desse aumento (PEREIRA; ORTEGA, 2010). Cerca de 20% das emissões dos gases de efeito estufa (GEE) são procedentes de atividades agrícolas, sobretudo daquelas com utilização excessiva de combustíveis fósseis (GARCIA; SPERLING, 2010). As operações de preparo do solo para o plantio da cana, cultivo das lavouras e o trânsito de colhedoras e veículos de transbordo podem causar degradação das propriedades físicas do solo. O manejo inadequado afeta o conteúdo de matéria orgânica do solo e a sua estrutura. A redução da quantidade de matéria orgânica no solo está relacionada à emissão de gases para a atmosfera, principalmente CO₂, CH₄, N₂O — gás carbônico, metano e óxido nitroso — com consequente contribuição para o aumento do aquecimento global; uma vez que estes são os principais compostos químicos, decorrentes de atividades agrícolas, causadores dos GEE (CERRI et al., 2007; GARCIA; SPERLING, 2010). A quantidade de nitrogênio depositada no solo é fator fundamental no processo de sequestro de carbono pelas plantas, pois, quando diminuída, há pouca absorção de CO₂ pela planta, cujo crescimento está diretamente relacionado a esse composto (CERRI, 2007; MASCARENHAS et al., 2008). O meio mais importante de remoção de CO₂ da atmosfera em sistemas agrícolas é a biomassa das plantas, onde ocorre captura de carbono mediante a fotossíntese, sendo que aproximadamente metade do CO₂ capturado é liberado na respiração, resultando em um estoque de carbono, na biomassa, denominado Produção Primária Líquida-PPL (GARCIA; SPERLING, 2010).

A preocupação com o avanço do processo degradativo dos solos e com a prevenção da degradação de novas áreas instiga as pessoas a pesquisar o uso de práticas em sistemas de produção para torná-las aceitáveis sob os critérios do desenvolvimento sustentável (RUVIARO et al., 2012). A adição de matéria orgânica melhora a estrutura dos solos e reduz o impacto da compactação causada pelo trânsito de máquinas e implementos (RESCK et al., 1982; WUTKE et al., 2006; DUARTE JÚNIOR; COELHO, 2008; LIMA et al., 2012). Essa matéria orgânica atua como um agente estabilizador dos agregados do solo, evitando sua desestruturação pela compressão causada pelas máquinas e equipamentos e pelo impacto direto das gotas de chuva, favorecendo a infiltração no solo. Dessa forma, há mais água disponível para a cultura, o que resulta em aumento da absorção de nutrientes, com reflexos na produtividade e vida útil do canavial (WUTKE et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2007; TEODORO et al., 2011; CAVALCANTE et al., 2012; SILVA et al., 2012).

A recuperação dos solos degradados é lenta, onerosa e exige persistência do agricultor. Entretanto, na busca de possibilidades de sistemas de manejo para melhorar a qualidade estrutural do solo, usando mecanismos naturais para sequestro do carbono e colaboração na mitigação do aquecimento global, tem-se apontado o uso da rotação de culturas como uma das melhores alternativas para os cultivos de áreas extensas, como é o caso da cana-de-açúcar (OLIVEIRA et al., 2007; MASCARENHAS et al., 2008). Nesse sistema de rotação, devem-se escolher espécies de plantas com sistema radicular vigoroso, capazes de crescer através de camadas de solo com resistência à penetração, criando bioporos através dos quais futuramente as raízes das canas poderão crescer e se aprofundar mais no solo (ALVARENGA et al., 1997; WUTKE et al., 2006; DUARTE JÚNIOR; COELHO, 2008). A produção de massa vegetal do adubo verde é um fator de grande importância, pois algumas espécies apresentam grande crescimento vegetativo (folhas, pecíolos e hastes). Os efeitos promovidos pelo uso da adubação verde com leguminosas para melhoria das propriedades químicas do solo são bastante variáveis, dependem em primeiro lugar da produção de biomassa e da sua composição química, que oscilam em função da espécie, região e estação de cultivo, manejo dado à biomassa, época de plantio e corte do adubo verde, tempo de permanência dos resíduos no solo, condições locais e da interação entre esses fatores (ALCANTARA et al., 2000; FAGERIA, 2007).

A adubação verde tem despontado como uma das práticas de rotação de cultura mais recomendadas para a manutenção das propriedades físicas do solo, sobretudo com a utilização de leguminosas por ocasião da reforma do canavial para o plantio de cana de ano e meio (MASCARENHAS et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2012). A adubação verde é uma técnica de manejo agrícola que consiste no cultivo de espécies de plantas com elevado potencial de produção de biomassa, semeadas em rotação, sucessão

ou em consórcio com culturas econômicas. Estas espécies de plantas possuem ciclo anual ou perene, podendo ser manejadas através de roçada e incorporação ao solo ou roçada e manutenção do resíduo na superfície (ALVARENGA et al., 1997; WUTKE et al., 2006; WANG, 2011). O uso de leguminosas tem a vantagem de reciclar e liberar os nutrientes para a cana-de-açúcar devido a sua rápida decomposição. Outro grande benefício das leguminosas é a elevada fixação biológica do nitrogênio do ar atmosférico, algumas espécies ultrapassam a 200 kg de nitrogênio por hectare. Com isso, pode haver complementação ou mesmo substituição da adubação mineral nitrogenada. Portanto, as leguminosas são uma alternativa viável na busca da sustentabilidade dos solos agrícolas, uma vez que preservam a qualidade do solo e do ambiente, sem prescindir da obtenção de elevada produtividade da cana-de-açúcar (ALCANTARA et al., 2000; CARVALHO, 2004; WUTKE et al., 2006; MASCARENHAS et al., 2008; TEODORO et al., 2011).

No centro-sul do Brasil, o plantio de cana de ano e meio geralmente ocorre de meados de fevereiro a início de abril, final do período chuvoso. Em Alagoas e demais estados do nordeste, o plantio de cana de ano e meio também é realizado no final do período chuvoso, mas, devido à distribuição das chuvas ser diferente do centro-sul do Brasil, o plantio de cana de ano e meio ocorre de final de julho a início de setembro. Assim, em Alagoas, a semeadura dos adubos verdes é realizada no início do período chuvoso, geralmente abril, quando os dias estão diminuindo e as noites aumentando (OLIVEIRA et al., 2007). Além da fertilidade do solo e da distribuição das chuvas, o comprimento da noite (nictoperíodo) influencia grandemente a fisiologia das leguminosas utilizadas em rotação de cultura com a cana, que são plantas que florescem em noites longas crescentes (ALVARENGA et al., 1997; WUTKE et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2007; CAVALCANTE et al., 2012; SILVA et al., 2012). Dessa forma, em Alagoas, as leguminosas são induzidas ao florescimento muito precocemente e, após o florescimento, as vagens passam a serem drenos preferenciais dos carboidratos, proteínas e lipídios produzidos pelas plantas, diminuindo muito ou paralisando o crescimento da leguminosa (OLIVEIRA et al., 2007). Assim, o conhecimento prévio da adaptação de espécies de leguminosas a determinado ambiente agrícola e climático é fato decisivo no sucesso da adubação verde (ALVARENGA et al., 1997; WUTKE et al., 2006; WANG, 2011; CAVALCANTE et al., 2012; LIMA et al., 2012).

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar, em dois anos agrícolas, o potencial produtivo e a qualidade da biomassa de adubos verdes e da vegetação natural visando rotação com a cana-de-açúcar, na Zona da Mata Alagoana, Nordeste do Brasil.

2. Métodos

Os dados do presente trabalho foram obtidos de um estudo conduzido no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, localizado no município de Rio Largo, Zona da Mata Alagoana, nordeste do Brasil. A temperatura média durante o período experimental, abril a setembro, variou de 22,0 a 25,0°C e a precipitação pluvial acumulada foi cerca de 1.000mm. Entretanto, no segundo ano de estudo, houve melhor distribuição de chuvas, que se estenderam até início de setembro.

Tanto no primeiro quanto no segundo ano de estudo, os adubos verdes foram semeados em áreas de reforma de canavial. O segundo estudo foi conduzido em área próxima à do primeiro, porém, não nas mesmas parcelas, visando eliminar o efeito residual da vegetação do primeiro ano. Em março de cada ano, antecedendo a implantação do estudo de avaliação do potencial produtivo de adubos verdes, coletaram-se amostras de solo e, de posse dos resultados, calcularam-se as quantidades de calcário a serem aplicadas com base em Oliveira et al. (2007) e Raij (2011). A seguir, o terreno foi arado, gradeado e subsolado. Cerca de quarenta dias após a calagem, alocaram-se os tratamentos, constituídos por uma parcela de vegetação natural e sete espécies de adubos verdes (crotalária júncea, crotalária oroleuca, crotalária espectabilis, feijão-de-porco, feijão-guandu fava larga, mucuna-cinza emucuna-preta), dispostos em blocos casualizados, com quatro repetições.

Na fase de formação de sementes de cada adubo verde, foi avaliado o acúmulo de biomassa, realizando-se as amostragens nas duas fileiras centrais da parcela, cortando-se as plantas rentes ao solo. O último adubo verde a ser colhido foi o feijão-guandu fava larga, coletado 120 dias após a

semeadura e, nesta ocasião, amostraram-se também as parcelas de vegetação natural. Para a quantificação do acúmulo de nitrogênio, foram seguidos métodos descritos por Malavolta et al. (1997). O acúmulo de nitrogênio na biomassa da parte aérea (matéria seca) foi obtido pelo produto da quantidade de matéria seca vezes a concentração de nitrogênio nessa matéria seca.

Os valores de acúmulo de biomassa seca, teor de nitrogênio e acúmulo de nitrogênio na parte aérea dos adubos verdes e da vegetação natural ou espontânea foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade, usando o programa estatístico Sisvar 4.2 (FERREIRA,2011).

3. Resultados

Observou-se efeito significativo de adubo verde e do ano de cultivo sobre o acúmulo de matéria seca, concentração de nitrogênio e acúmulo de nitrogênio na matéria seca da biomassa da parte aérea dos sete adubos verdes e da vegetação natural da área. Entretanto, não ocorreu interação de adubos verdes com o ano de cultivo. O coeficiente de variação para as três variáveis analisadas foi inferior a 10,0%, havendo, portanto, baixa variabilidade experimental. Os valores médios dos dois anos de estudo, para o acúmulo de matéria seca, concentração de nitrogênio e acúmulo de nitrogênio na matéria seca da biomassa da parte aérea dos adubos verdes e da vegetação natural da área, foram respectivamente de 6.033 kg/ha, 28,2g/kg e 175 kg/ha.

Nos dois anos de estudo, o menor acúmulo de matéria seca na biomassa da parte aérea das plantas foi observado na vegetação natural (Tab. 1), mesmo tendo-se colhido a vegetação natural 120 dias após a semeadura, época da colheita do feijão-guandu fava larga, o mais produtivo e mais tardio. Para as Crotalárias júncea, oroleuca e espectabilis, de ciclos mais curtos (colhidas até 80 dias após a semeadura), bem como para a vegetação natural, não foi observado efeito do ano de cultivo sobre os valores médios do acúmulo de matéria seca na biomassa da parte aérea. Por outro lado, devido a melhor distribuição de chuvas ocorrida no segundo ano de estudo, que se estenderam até início de setembro, as mucunas preta e cinza, feijão-de-porco e feijão-guandu fava larga tiveram aumento significativo da biomassa da parte aérea planta (Tab. 1).

Tab. 1. Valores médios do acúmulo de matéria seca na biomassa da parte aérea da vegetação natural (espontânea) e dos sete adubos verdes, nos dois anos de estudos conduzidos em Rio Largo, Estado de Alagoas

Adubo verde	Acúmulo de matéria seca na biomassa da parte aérea (kg/ha)*	
	Primeiro Ano	Segundo Ano
Vegetação natural	3.187 a A	3.522 a A
Crotalária júncea	3.946 a B	4.243 a B
Crotalária oroleuca	4.126 a B	4.439 a B
Crotalária espectabilis	4.567 a C	4.919 a C
Mucuna-cinza	5.805 a D	6.322 b D
Feijão-de-porco	7.327 a E	7.863 b E
Mucuna-preta	8.030 a F	8.755 b F
Feijão-guandu fava larga	9.319 a G	10.163 b G

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na mesma linha ou de maiúscula na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5,0% de probabilidade.

Em trabalhos conduzidos no Vale do Ribeira, SP, Lima et al. (2012) observaram acúmulos de matéria seca na biomassa da parte aérea do feijão-guandu da ordem de 9.500 kg/ha, próximos ao do presente estudo, mas, para a Crotalária júncea, o acúmulo foi de cerca de 15.000 kg/ha. Estes autores também constataram que a crotalária júncea foi muito mais sensível ao comprimento da noite que o feijão-guandu, florescendo precocemente quando a sua semeadura ocorre sob noites longas crescentes, repercutindo em baixo desempenho quanto ao acúmulo de matéria seca, confirmando as observações de Amabile et al. (2000); Oliveira et al. (2007) e Mascarenhas et al. (2008).

Nos dois anos de estudo, a crotalária júncea foi a primeira a emitir botão floral, cerca de 60 dias após a emergência. Nas áreas de reforma de canavial em Alagoas e, de maneira geral, no nordeste do Brasil, as sementeiras de adubos verdes são realizadas a partir de abril, devido ao início do período chuvoso, e, no hemisfério sul, após março, as noites aumentam de tamanho. Em trabalhos conduzidos por Oliveira et al. (2007), na Zona da Mata Mineira, com a crotalária júncea semeada no início de outubro e, portanto, sob nictoperíodo longo decrescente, verificou-se que o florescimento de cerca de 50% das plantas ocorreu somente aos quatro meses após a sementeira, quando a altura das plantas era superior a três metros. Lima et al. (2012) também observaram florescimento de cerca de 50% das plantas da crotalária júncea, semeada em novembro, somente após 116 dias de ciclo. A produção de matéria seca pela crotalária júncea, quando semeada sob nictoperíodo curto, é duas ou três vezes maior que a obtida no presente estudo, conforme observado por Perin et al. (2004); Oliveira et al. (2007). Nos estudos desenvolvidos por Cáceres; Alcarde (1995), a produção de matéria seca pela Crotalária júncea foi cerca de o dobro produzido pela Crotalária espectabilis, entretanto, nesse trabalho a Crotalária espectabilis suplantou a Crotalária júncea em aproximadamente 15%.

A altura média das plantas de crotalária júncea no início do florescimento era de 77 cm, alcançando 95 cm por ocasião da colheita, havendo, portanto, um incremento médio de apenas 18 cm na altura das plantas. A crotalária oroleuca e a crotalária espectabilis tinham, respectivamente, alturas médias de 54 e 29 cm no início do florescimento. Na ocasião da colheita, as alturas das plantas eram de 87 e 54 cm, representando incrementos médios de cerca de 60 e 87%. Entretanto, quando a crotalária júncea é semeada na primavera, sob noites longas decrescentes, sua altura ultrapassa a 3,0 metros, aos 100 dias após a sementeira (OLIVEIRA et al., 2007). Em diversas regiões agrícolas do Brasil, tem-se constatado aumento de produtividade pela elevação do teor de matéria orgânica, tanto em culturas anuais quanto em semi-perenes e perenes. Possivelmente esse efeito também se observará nas áreas de reforma de canavial onde se cultivar leguminosa de maior potencial de acúmulo de matéria seca (OLIVEIRA et al., 2007; DUARTE JÚNIOR; COELHO, 2008; RAIJ, 2011).

Dos adubos verdes estudados, a Crotalária júncea foi a que apresentou maior crescimento inicial e essa sua característica pode ser uma vantagem competitiva quando semeada em áreas que apresentem infestação de plantas daninhas, também, de rápido crescimento e cobertura do solo. Oliveira et al. (2007), semearam Crotalária júncea em área de grande infestação de capim-marmelada (*Brachiaria plantaginea*) e verificaram grande competitividade da Crotalária júncea comparada à esta gramínea, pois ocorreu redução de 60% na biomassa desta brachiaria, mas, por outro lado, o cultivo da Crotalária júncea aumentou em cerca de 120% o acúmulo de biomassa seca sobre o solo. Ao considerar os percentuais de aumento na altura de planta, as Crotalárias oroleuca e espectabilis foram as que apresentaram os maiores valores, da ordem de 60 e 90%, respectivamente.

O feijão-guandu fava larga foi a leguminosa que mais acumulou matéria seca: 9.319 kg/ha no primeiro ano de estudo e 10.163 kg/ha no segundo ano (Tab. 1). A mucuna-preta foi o segundo adubo verde de maior potencial produtivo, seguido do feijão-de-porco e da mucuna-cinza, todos com produção, nos dois anos, superior a 6.000 kg de matéria seca por hectare. Os valores obtidos com esses adubos verdes, no presente estudo, são da mesma ordem de grandeza dos verificados por Fernandes et al. (1999) nos tabuleiros costeiros de Sergipe. O longo período juvenil do feijão-guandu fava larga, pode ter contribuído para esse elevado acúmulo de matéria seca. Contudo, há relatos de acúmulo de matéria seca por feijão-guandu, de 6,0 t/ha ou menos (CÁCERES; ALCARDE, 1995; AMABILE et al., 2000). Uma característica do feijão-guandu que deve ser destacada é a sua pequena taxa de crescimento na fase inicial, o que pode ser vantajoso quando esta planta é utilizada em adubação verde consorciada com o milho, pois não causa competição com esta lavoura, mas pode ser uma característica indesejável quando semeado em áreas com predominância de plantas daninhas de rápido crescimento inicial, como os capins colônias ou do gênero brachiaria (WUTKE et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2007).

Em trabalhos conduzidos por Fávero et al. (2000), no cerrado mineiro, constatou-se que o feijão-de-porco foi a espécie mais produtiva, com acúmulo médio de matéria seca da ordem de 5.500 kg/ha. Em

todos os trabalhos consultados (ALVARENGA et al., 1997; AMABILE et al., 2000; OLIVEIRA et al., 2007; MASCARENHAS et al., 2008; LIMA et al., 2012), os autores relatam o rápido crescimento inicial da crotalária-júncea, que promoveu cobertura total do solo aos 50 dias após a sementeira, causando sombreamento completo das plantas daninhas e maior taxa de infiltração de água no solo.

A contribuição da adubação verde com leguminosas para a melhoria do solo e o aumento da produtividade da cana-de-açúcar depende principalmente da produção de matéria seca pelos adubos verdes, devido à reciclagem de nutrientes e as alterações nas características físicas do solo, sobretudo do aumento da capacidade de retenção de água e trocas gasosas (RESCK et al., 1982; WUTKE et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2007), mas a composição química, especialmente o teor de nitrogênio, também influencia na decomposição dos resíduos e liberação de nutrientes (AMABILE et al., 2000; OLIVEIRA et al., 2007; MASCARENHAS et al., 2008; LIMA et al., 2012). Na Tab. 2 estão citados os valores médios da concentração de nitrogênio na matéria seca da biomassa da parte aérea dos adubos verdes e da vegetação natural ou espontânea. Além de aumentar a massa, a adubação verde melhorou muito a qualidade dos resíduos, mas houve efeito do ano de cultivo na concentração de nitrogênio na matéria seca da biomassa da parte aérea apenas para a crotalária-júncea e a crotalária ocreleuca.

Tab. 2. Valores médios da concentração de nitrogênio na matéria seca da biomassa da parte aérea de sete adubos verdes e da vegetação natural, nos dois anos de estudos conduzidos em Rio Largo, Alagoas

Adubo verde	Concentração de nitrogênio na biomassa da parte aérea (gramas de nitrogênio por kg de matéria seca)*	
	Primeiro Ano	Segundo Ano
Vegetação natural	12,46 a A	13,98 a B
Crotalária júncea	24,60 a B	28,35 b B
Feijão-de-porco	26,21 a B	28,65 a B
Crotalária ocreleuca	27,53 a B	30,42 b B
Feijão-guandu fava larga	28,57 a B	31,40 a B
Mucuna-preta	30,21 a C	31,75 a B
Mucuna-cinza	32,35 a C	34,9 a C
Crotalária espectabilis	33,70 a C	35,48 a C

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na mesma linha ou de maiúscula na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5,0% de probabilidade.

A concentração de nitrogênio nas crotalárias, feijão-de-porco, mucunas e feijão-guandu foram de mesma ordem de grandeza das relatadas por Wutke et al. (2006), Teodoro et al. (2011) e Lima et al. (2012). Para a vegetação natural, os valores médios de concentração de nitrogênio obtidos no presente estudo são semelhantes ao relatados por Cavalcante et al. (2012), em estudo conduzido em Arapiraca, sertão Alagoano; entretanto, maiores que os verificados por Cerqueira (2011), que realizou trabalho de caracterização de leguminosas para a adubação verde de canaviais em solo de tabuleiro costeiro, no município de Penedo, região deságue do rio São Francisco, em Alagoas. As biomassas com teores de nitrogênio maiores que 25 g/kg de matéria seca são consideradas de boa qualidade e de rápida liberação de nutrientes (OLIVEIRA et al., 2007, LIMA et al., 2012), assim, todos os adubos verdes apresentaram biomassa de boa qualidade.

Os valores médios do acúmulo de nitrogênio na biomassa da parte aérea dos sete adubos verdes e da vegetação natural estão apresentados na Tab. 3. A inclusão de qualquer um dos adubos verdes aumentou pelo menos uma vez a quantidade de nitrogênio aportado ao solo pela vegetação natural, porém, os maiores acúmulos foram observados para a mucuna-preta e o feijão-guandu fava larga, com valores médios superiores a 250 kg de nitrogênio por hectare.

Perin et al. (2004) e Pereira (2007) verificaram que cerca de 60 a 94% do total de nitrogênio acumulado na biomassa da parte aérea das crotalárias, feijão-de-porco, mucunas e feijão-guandu, originava-se das associações simbióticas das raízes da leguminosa com as bactérias fixadoras de nitrogênio do ar atmosférico, resultando em aporte de grandes quantidades deste nutriente ao sistema

solo-planta, e assim contribuindo para uma produção mais limpa. Estimativas realizadas por Stangel(1984) mostraram que os fertilizantes nitrogenados são responsáveis por cerca de 80% dos custos com os fertilizantes agrícolas e 30% de toda a energia empregada na produção agrícola.

Tab. 3. Valores médios do acúmulo de nitrogênio na biomassa da parte aérea de sete adubos verdes e da vegetação natural, nos dois anos de estudo conduzidos em Rio Largo, Alagoas

Adubo verde	Acúmulo de nitrogênio na matéria seca da biomassa da parte aérea (kg/ha)*	
	Primeiro Ano	Segundo Ano
Vegetação natural	40 a B	49 a A
Crotalária júncea	97 a B	121 b B
Crotalária oroleuca	113 a B	139 b B
Crotalária espectábilis	154 a C	175 a C
Mucuna-cinza	188 a D	220 b D
Feijão-de-porco	192 a D	225 b D
Mucuna-preta	244 a E	278 b E
Feijão-guandu fava larga	266 a E	309 b F

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na mesma linha ou de maiúscula na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5,0% de probabilidade.

Na escolha dos adubos verdes para a rotação com a cana-de-açúcar é necessário considerar o ciclo da cultura, de forma a não comprometer as operações de preparo do solo e plantio. As mucunas cinza e preta, o feijão-de-porco e o feijão guandu fava larga não preenchem esse quesito, pois seus ciclos são muito longos, inviabilizando a rotação com a cana, mesmo sendo as plantas que mais acumularam biomassa seca e nitrogênio. Desta forma, na rotação de leguminosas com a cultura da cana em Alagoas e outros estados do nordeste brasileiro sugere-se escolher uma das três crotalárias, que tem ciclo compatível com as operações de preparo do solo e plantio da cana de ano e meio, que deverá ser realizado até início de setembro, evitando que a falta de água no solo comprometa a germinação das mudas de cana.

4. Conclusão

A adubação verde, em rotação com a cana, tem grande potencial para a melhoria do solo e o aumento da produtividade da cana-de-açúcar, devido à elevada reciclagem de nutrientes e aporte de matéria seca.

Em relação aos adubos verdes, houve diferença entre as leguminosas quanto ao potencial de acúmulo de matéria seca e de nitrogênio na biomassa da parte aérea, mas para uma rotação com a cultura da cana-de-açúcar é necessário avaliar também o ciclo desses adubos.

O feijão-guandu fava larga, a mucuna-preta, o feijão-de-porco e a mucuna-cinza foram, em ordem decrescente, as plantas que mais acumularam matéria seca e nitrogênio na biomassa da parte aérea, mas os seus ciclos muito longos não permitem rotação com a cana.

As crotalárias júncea, oroleuca e espectábilis tiveram menor potencial produtivo, mas se adaptam bem à rotação com a cana de ano e meio.

A qualidade da matéria seca produzida pelas crotalárias júncea, oroleuca e espectábilis é muito superior à da vegetação natural da área.

Em áreas de reforma de canavial, a inclusão de uma das crotalárias (júncea, oroleuca ou espectábilis) na rotação com a cana, contribui para uma produção mais limpa do etanol e do açúcar.

Referências

Alcântara, F. A.; Furtini Neto, A. E.; Paula, M. B.; Mesquita, H. A.; Muniz, J. A., 2000. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um latossolo vermelho-escuro degradado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.35, n.2, p. 277-288, fevereiro.

Alvarenga, R. C.; Costa, L. M.; Moura Filho, W.; Regazzi, A. J., 1997. Produção de matéria seca e absorção de nutrientes por leguminosas, em resposta à compactação do solo. *Revista Ceres*, 44 (254): 421-431.

Amabile, R. F.; Fancelli, A. L.; Carvalho, A. M., 2000. Comportamento de espécies de adubos verdes em diferentes épocas de semeadura e espaçamentos na região dos cerrados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.35, p. 47-54.

Cáceres, N. T.; Alcarde, J. C., 1995. Adubação verde com leguminosas em rotação com cana-de-açúcar (*Saccharum* spp). *STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos*, v. 13, n. 5, p. 16-20.

Carvalho, M. A. C.; Athayde, M. L. F.; Soratto, R. P.; Alves, M. C.; Sá, M. E., 2004. Adubação verde e sistemas de manejo do solo na produtividade do algodoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.39, n.12, p.1205-1211, dezembro.

Cavalcante, V. S.; Santos, V. R.; Santos Neto, A. L.; Santos, M. A. L.; Santos, C. G.; Costa, L. C., 2012. Biomassa e extração de nutrientes por plantas de cobertura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. V. 16, n. 5, p. 521-528.

Cerqueira, D. C. O., 2011. Caracterização de leguminosas para adubação verde de canaviais em solo de tabuleiro costeiro, Penedo, Alagoas. *Dissertação*. CECA UFAL, 79 p.

Cerri, C. E., 2007. Redução na emissão de CO₂ não será suficiente para acabar com o efeito estufa. In: *CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE NITROGÊNIO*, 4. Costa do Sauípe. Anais... Disponível em: <<http://www.nitrogen2007.com>>. Acesso: 08 fev. 2013.

Cerri, C. E. P.; Spavorek, G.; Bernoux, M.; Easterling, W. E.; Melillo, J. M.; Cerri, C. C., 2007. Agricultura tropical e aquecimento global: impactos e opções de mitigação. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 64, n. 1, p. 83-89, Revisão.

Duarte Júnior, J. B.; Coelho, F. C., 2008. Adubos Verdes e seus efeitos no rendimento da cana-de-açúcar em sistemas de plantio direto. *Bragantia*, Campinas, v. 67, n. 3, p.723-732.

Fageria, N.K., 2007. Green manuring in crop production. *Journal of Plant Nutrition*, v.30, p.691-719.

Fávero, C.; Jucksch, I.; Costa, L.M.; Alvarenga, R. C.; Neves, J. C. L., 2000. Crescimento e acúmulo de nutrientes por plantas espontâneas e por leguminosas utilizadas para adubação verde. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 24, p. 171-177.

Fernandes, M. F.; Barreto, A. C. Emídio Filho, J., 1999. Fitomassa de adubos verdes e controle de plantas daninhas em diferentes densidades populacionais de leguminosas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 34, p. 1593-1600.

Ferreira, D. F., 2011. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 35, n. 6, p. 1039-1042.

Garcia, J. C. C.; Sperling, E. V., 2010. Emissões de gases de efeito estufa no ciclo de vida do etanol: estimativa nas fases de agricultura e industrialização em Minas Gerais. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 15, p. 217-222.

- Lima, J. D.; Sakai, R. K.; Aldrighi M., 2012. Produção de biomassa e composição química de adubos verdes cultivados no Vale do Ribeira. *BioscienceJournal*, Uberlândia, v. 28, n. 5, p. 709-717, Sept./Oct.
- Malavolta, E.;Vitti, G. C.; Oliveira, S., 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas – princípios e aplicações. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 226 p.
- Mascarenhas, H. A. A.;Wutke, E. B.; Tanaka, R. T., 2008. Leguminosas adubos verdes em áreas de renovação de canavial no Estado de São Paulo. *Informações Agronômicas*, n. 124, dezembro.
- Oliveira, M. W.;Freire, F. M.; Macêdo, G. A. R., 2007. Nutrição mineral e adubação da cana-de-açúcar. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.28, n.239, p.30-43.
- Oliveira, T.B.A., Selig, P. M.; Barbosa, V. M.; Campos, L. M. S.; Bornia, A. C.; Oliveira, M.W., 2012. Tecnologia e custo de produção de cana-de-açúcar: um estudo de caso em uma propriedade agrícola. *Latin American Journalof Business Management*, v.3, n.1, p150-172.
- Pereira, A. J., 2007. Caracterização agrônômica de espécies de Crotalaria L. em diferentes condições edafoclimáticas e contribuição da adubação verde com C. juncea no cultivo orgânico de brássicas em sistema de plantio direto. Tese. Seropédica: UFRRJ. 72 p.
- Pereira, C. L.F.; Ortega, E.2010. Sustainabilityassessmentoflarge-scaleetanolproductionfromsugarcane.*JournalofCleanerProduction*, Volume 18, Issue1, January, pages 77-82.
- Perin, A.; Santos, R. H. S.; Urquiaga, S.; Guerra, J. G. M.; Cecon, P. R., 2004. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. *Pesquisa Agropecuária brasileira*, v.39, p. 35-40.
- Raij, B., 2011. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute.420p.
- Resck, D. V. S.; Sharma, R. D.; Pereira, J., 1982. Efeito de quinze espécies de adubos verdes, na capacidade de retenção de água e no controle de nematóides, em latossolovermelho-escuro sob cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 17 (3):459-467, março.
- Ruviaro,C. F., Gianezini, M., Brandão, F., S.; Winck,C. A., Dewes, H., 2012. Life cycle assessment in Brazilian agriculture facing worldwide trends.*Journal of Cleaner Production*, Volume 28, June, Pages 9-24.
- Silva, G.B.F.; Azania, C.A.M.; Novo, M.C.S.S.; Wutke, E.B.; Zera, F.S.; Azania, A.A.P.M., 2012.Tolerância de espécies de mucuna a herbicidas utilizados na cultura da cana-de-açúcar. *Planta Daninha*, Viçosa-MG, v. 30, n. 3, p. 589-597.
- Sodré, A. A. Cana x alimentos,2008. Disponível em: <<http://www.assomogi.com.br/artigos.php?id=6>>. Acessadoem: 01 dezembro 2012.
- Stangel, P. J. , 1984. World nitrogen situation—trends, outlook, and requirements. In: HANCK, R. D., ed. *Nitrogen in crop production*. Madison, American Society Agronomy, p. 23-54.
- Teodoro, R. B.; Oliveira, F. L.; Silva, D. M. N., Fávero, C.; Quaresma, M. A. L., 2011. Aspectos agrônômicos de leguminosas para adubação verde no cerrado do Alto Vale do Jequitinhonha. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 35:635-643.

Wang, K. H.; Hooks C.R.R., Marahatta, S.P., 2011. Can using a strip-tilled cover cropping system followed by surface mulch practice enhance organisms higher up in the soil food web hierarchy? *Applied Soil Ecology*, 49, 107–117.

Wutke, E. B.; Arévalo, R. A., 2006. Adubação verde com leguminosas no rendimento da cana-de-açúcar e no manejo de plantas infestantes. Campinas: Instituto Agronômico, 28 p. (Série Tecnológica APTA, Boletim Técnico IAC, 198).