



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

ISABEL GIOVANNA COSTA E MELO

DENSIDADES DE SEMEADURA DE LEGUMINOSAS NA MELHORIA DA
QUALIDADE DO SOLO E NA PRODUTIVIDADE DO MILHO

Mossoró-RN
2012

ISABEL GIOVANNA COSTA E MELO

DENSIDADES DE SEMEADURA DE LEGUMINOSAS NA MELHORIA DA
QUALIDADE DO SOLO E NA PRODUTIVIDADE DO MILHO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal Rural do Semiárido – UFERSA, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

ORIENTADOR: Prof. D. Sc. Neyton de Oliveira Miranda

Mossoró-RN
2012

ISABEL GIOVANNA COSTA E MELO

DENSIDADES DE SEMEADURA DE LEGUMINOSAS NA MELHORIA DA
QUALIDADE DO SOLO E NA PRODUTIVIDADE DO MILHO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal Rural do Semiárido – UFERSA, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

APROVADA EM: ____/____/____ .

BANCA EXAMINADORA

Prof. D. Sc. Neyton de Oliveira Miranda (UFERSA)
Orientador

Prof. D. Sc. Joaquim Odilon Pereira (UFERSA)
Conselheiro

Engº Agrº D. Sc. Edimar Teixeira Diniz Filho
Conselheiro

*A **Deus** por me proporcionar a vida;*

*A minha mãe, **Margarida**, por ser minha
companheira sempre;*

*Ao meu grande pai, **João de Melo** (em
memória), pelos grandes valores deixados,
exemplo de humildade, fé e coragem, que me
encoraja todos os dias a lutar pelos meus
objetivos. E que tenho certeza, que onde está,
está contente e orgulhoso por mim.*

Com muito carinho e gratidão, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Ao meu maravilhoso Deus, que me conduz em cada passo dado. Pela benção neste trabalho, garantindo tempo, saúde, coragem e sabedoria para chegar ao final desta jornada.

A minha mãe Margarida, pelo tudo que representa na minha vida, pelo exemplo de humildade e amor, pelo apoio e incentivo nas minhas decisões, por ser meu suporte e razão do que sou hoje.

Aos meus irmãos Lucas e Tiago, exemplos de determinação, que são indispensáveis na minha vida.

Aos meus sobrinhos queridos, João e Júlia, pela alegria e paz que trazem aos nossos lares.

A minhas cunhadas Luana e Ludmyla, pela convivência e incentivo.

Aos tios, tias, primos e primas e todos que fazem parte dessa família tão agraciada, que sempre estiveram me apoiando e incentivando.

A Glêidson, pelo nosso nobre sentimento e grande exemplo de profissional e pessoa humana, que me espelha e me encoraja sempre. Por ter contribuído de forma tão significativa em cada etapa desse trabalho. E toda sua família pelo apoio e acolhimento.

Ao Prof. Dr. Neyton Miranda por ter me acolhido como orientada, pela confiança em mim depositada, pela disponibilidade incansável, por todos os ensinamentos e pelo excelente convívio ao longo deste desafio.

Aos membros da Banca, pela aceitação do convite e contribuição para melhoria desta dissertação.

A todos os docentes do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFERSA por todos os ensinamentos e incentivos.

À UFERSA pela formação e oportunidade.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudos e oportunidade de realização deste trabalho.

Aos funcionários do Laboratório de Solo-Água-Planta (LASAP) da UFERSA, em especial à Mércia, Seu Elídio, Celsa, Seu Tomaz, Mazé, Kaline, pela paciência e ajuda nas análises.

A todos os colegas de mestrado, em especial, Eugênia, Lela, Talita, Humbelina pela maravilhosa convivência, aprendizados e amizade.

Aos colegas Emanuel, Allisson, Azevedo, Carol, Vital, Sarah, Mairla que não mediram esforços e sempre me ajudaram na condução do experimento.

Às demais pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADA!

“E Jesus disse-lhe: Se tu podes crer; TUDO É
POSSÍVEL AO QUE CRÊ.”

(Mc 9:23)

BIOGRAFIA DA AUTORA

ISABEL GIOVANNA COSTA E MELO, nascida em 27 de setembro de 1985, em Mossoró, Rio Grande do Norte, filha de João de Melo e Margarida Maria Costa de Melo.

Graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em janeiro de 2010. De agosto 2007 a julho de 2008, foi bolsista de Iniciação Científica com bolsa de PIBIC/CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), desenvolvendo trabalhos de pesquisa na área de manejo da irrigação na cultura do mamão. De agosto de 2008 a julho de 2009, foi bolsista de Iniciação Científica com bolsa de PICI/UFERSA, atuando em trabalhos com integração aquicultura e agricultura.

Em março de 2010, ingressou no Mestrado em Ciência do Solo pela UFERSA, atuando na linha de pesquisa de Manejo e Conservação do Solo, com bolsa concedida pela CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior).

RESUMO

MELO, Isabel Giovanna Costa e. **Densidades de semeadura de leguminosas na melhoria da qualidade do solo e na produtividade do milho**. 2012. 60f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró - RN, 2012.

Atualmente, a preocupação com o avanço do processo degradativo instalado em grande parte dos solos brasileiros, e com a prevenção da degradação de novas áreas, tem gerado a necessidade do uso de práticas que adicionem matéria orgânica ao solo. Entre essas, destaca-se a adubação verde, reconhecida como uma alternativa viável na busca da sustentabilidade dos solos agrícolas. Diante disso, foi implantado um experimento na fazenda experimental da UFERSA, com o objetivo de avaliar o desempenho de leguminosas utilizadas como adubo verde, em diversas densidades de semeadura, na melhoria da qualidade do solo e da produtividade do milho. O experimento foi constituído por duas etapas: na primeira, o cultivo das espécies de leguminosas e na segunda, a cultura comercial do milho. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados em esquema fatorial 4x4, com 16 tratamentos e quatro repetições, totalizando 64 parcelas, cada uma medindo 1 m². Os fatores estudados foram as espécies de leguminosas (guandu, feijão de porco, lab-lab e mucuna-anã) e as densidades de semeadura (10, 20, 30 e 40 plantas m⁻²). Foram coletadas amostras de solo para análise antes da implantação das leguminosas e 30 dias após a incorporação das mesmas. Na época do pleno florescimento, as leguminosas foram cortadas, pesadas para determinação da produção total de biomassa, amostradas, para posterior análise foliar, e a seguir incorporadas e deixadas em pousio por 30 dias. Após este período, foi implantada a cultura do milho, da qual foi determinado o estado nutricional, a altura de plantas, o peso seco de 100 grãos e o peso total de grãos produzidos. Os resultados foram submetidos à análise de variância, à comparação de médias, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade, e à análise de regressão. As espécies lab-lab e feijão de porco apresentaram os melhores resultados no acúmulo de biomassa e teores de nutrientes, promovendo a melhoria nas características químicas do solo e, conseqüentemente, melhoria na produção total de grãos e altura de plantas de milho.

Palavras-chaves: *Zea mays L.*, adubação verde, biomassa.

ABSTRACT

Melo, Isabel Giovanna Costa e. **Seeding densities of legumes in improving soil quality and yield of corn.** 2012. 60f. Dissertation (Master in Soil Science) - Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), Mossoró - RN, 2012.

Currently, the concern with the progress of degradation processes installed in most Brazilian soils, and with the prevention of the degradation of new areas, has led to the need to use practices to add organic matter to soil. Among these, there is a green manure, recognized as a viable alternative in the search for sustainability of agricultural soils. In this context, an experiment was implemented at the experimental farm of UFERSA, in order to evaluate the performance of green manuring legumes seeded in different rates, for improving soil quality and corn yield. The experiment was constituted of two stages: first, the cultivation of legume species and, second, commercial cultivation of corn. Experimental design was randomized blocks in a factorial scheme 4x4, with 16 treatments and four replications, totaling 64 plots, each of 1 m². Factors studied were legume species (pigeon pea, jack bean, lab-lab, dwarf velvet bean) and seeding rates (10, 20, 30 and 40 plants m⁻²). Soil samples for analysis were taken before legume seeding and 30 days after its incorporation into the soil. At full flowering, legumes were cut, weighed for biomass determination, sampled for leaf analysis, incorporated into the soil and left fallow for 30 days. After this period corn crop was grown for determination of its nutritional status, plant height, dry mass of hundred grains and total mass of grains. Data were submitted to variance and regression analysis means were compared through Tukey test at a 5% probability level. Lab-lab and pigeon pea showed higher results of biomass accumulation and nutrient content, what provided improvement in soil chemical characteristics and, as a consequence, increased grains yield and plant height.

Keywords: *Zea mays* L., green manure, biomass.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características químicas do solo na camada arável antes da instalação do experimento de densidades de semeadura de leguminosas, Mossoró-RN, 2010.....	29
Tabela 2 – Caracterização química da água utilizada na irrigação do experimento. Mossoró-RN, 2010.....	30
Tabela 3 – Caracterização dos tratamentos aplicados às parcelas do experimento de densidades de semeadura de leguminosas.....	31
Tabela 4 – Resumo da análise de variância para massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR), nitrogênio total (N), fósforo (P), potássio (K) em função de densidades de semeadura de leguminosas. Mossoró-RN, UFERSA, 2011.....	37
Tabela 5 – Valores médios de massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR), nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) na parte aérea de leguminosas por ocasião do florescimento. Mossoró-RN, UFERSA, 2011.	38
Tabela 6 – Resumo da análise de variância para potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), matéria orgânica (MO), nitrogênio total (N), fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e capacidade de troca catiônica (CTC) em função de densidades de semeadura de leguminosas. Mossoró-RN, UFERSA, 2011.....	42
Tabela 7 – Valores médios de potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), matéria orgânica (MO), nitrogênio total (N), fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e capacidade de troca catiônica (CTC) em função da incorporação de leguminosas no solo. Mossoró-RN, UFERSA, 2011.	42
Tabela 8 – Resumo da análise de variância para altura da planta (Alt), umidade (U), peso úmido de 100 grãos (PU), Peso seco de 100 grãos (PS), produção total de grãos (PT), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) em função de densidades de semeadura de leguminosas. Mossoró-RN, UFERSA, 2011.	46
Tabela 9 – Valores médios de altura de planta (Alt), umidade (U), peso úmido de 100 grãos (PU), peso seco de 100 grãos (PS), produção total de grãos (PT), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) na parte aérea do milho, em função da incorporação de leguminosas no solo. Mossoró-RN, UFERSA, 2011.	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Croqui da área experimental cultivada com diferentes densidades de semeadura e espécies de leguminosas. Mossoró-RN, UFERSA, 2011.	32
Figura 2 – Caracterização da parcela cultivada com milho após diferentes densidades de semeadura e espécies de leguminosas. Mossoró-RN, UFERSA, 2011.....	34
Figura 3 – Produção de massa fresca e seca da parte aérea de leguminosas em função de densidades de semeadura. Mossoró-RN, UFERSA, 2011.	39
Figura 4 – Produção de massa fresca e seca da raiz de leguminosas em função de densidades de semeadura. Mossoró-RN, UFERSA, 2011.	40
Figura 5 – Equações de regressão para teores de P na parte aérea de leguminosas em função de densidades de semeadura. Mossoró-RN, UFERSA, 2011.	41
Figura 6 – Condutividade elétrica do solo em função de densidades de semeadura de leguminosas. Mossoró-RN, UFERSA, 2011.....	44
Figura 7 – Teores de nitrogênio no solo em função de densidades de semeadura de leguminosas. Mossoró-RN, UFERSA, 2011.	45
Figura 8 – Equações de regressão para teores de K no solo em função de densidades de semeadura de espécies de leguminosas. Mossoró-RN, UFERSA, 2011.....	45
Figura 9 – Equações de regressão para teores de Na no solo em função de densidades de semeadura de espécies de leguminosas. Mossoró-RN, UFERSA, 2011.....	46
Figura 10 – Equações de regressão para peso úmido de 100 grãos de milho em função de densidades de semeadura de espécies de leguminosas. Mossoró-RN, UFERSA, 2011.....	48
Figura 11 – Equações de regressão para peso seco de 100 grãos de milho em função de densidades de semeadura de espécies de leguminosas. Mossoró-RN, UFERSA, 2011.....	49
Figura 12 – Equações de regressão para teores de P na parte aérea do milho em função de densidades de semeadura de espécies de leguminosas. Mossoró-RN, UFERSA, 2011.....	50

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1 ADUBAÇÃO VERDE	15
2.3 INFLUÊNCIA DA ADUBAÇÃO VERDE NAS PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS E BIOLÓGICAS DO SOLO	16
2.2 UTILIZAÇÃO DE PLANTAS LEGUMINOSAS NA ADUBAÇÃO VERDE	18
2.3.1 Espécies de leguminosas mais utilizadas na adubação verde.....	19
2.3.1.1 Feijão guandu (<i>Cajanus cajan</i> L.)	20
2.3.1.2 Feijão de porco (<i>Canavalia ensiformes</i>).....	21
2.3.1.3 Lab-lab (<i>Dolichos lablab</i>)	22
2.3.1.4 Mucuna anã (<i>Mucuna duringiana</i>)	23
2.4 INFLUÊNCIA DA DENSIDADE DE SEMEADURA DAS LEGUMINOSAS.....	23
2.5 CULTURA DO MILHO	24
2.6 INFLUÊNCIA DA ADUBAÇÃO VERDE NA CULTURA DO MILHO	26
3 MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1 LOCALIZAÇÃO E ÁREA DO EXPERIMENTO	29
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO	29
3.3 MATERIAIS VEGETAIS UTILIZADOS	30
3.3.1 Milho	30
3.3.2 Leguminosas.....	30
3.4 DELINEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	30
3.5 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	31
3.5.1 Condução das espécies de leguminosas	32
3.5.2 Condução da cultura do milho.....	33
3.6 CARACTERÍSTICAS AVALIADAS NO SOLO	34
3.7 CARACTERÍSTICAS AVALIADAS NAS LEGUMINOSAS.....	35
3.8 CARACTERÍSTICAS AVALIADAS NA CULTURA DO MILHO.....	35
3.9 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1 AVALIAÇÃO DA BIOMASSA E TEOR DE NUTRIENTES NAS LEGUMINOSAS ..	37
4.2 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO.....	42
4.3 AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E ESTADO NUTRICIONAL DO MILHO	46
5 CONCLUSÕES.....	52
6. REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

A busca de mecanismos que viabilizem a permanência do homem no campo tem sido motivo de estudos e discussões em todo Brasil, tendo em vista que o êxodo rural tornou-se intenso nas últimas décadas, como consequência das dificuldades enfrentadas no campo pelos pequenos agricultores (PORTELA e VESENTINI, 1995).

As dificuldades são provenientes, dentre outros fatores, dos baixos preços dos produtos agrícolas no mercado, aliados aos custos dos insumos e fertilizantes minerais. Além disto, o sistema tradicional de cultivo, ao longo do tempo, acarreta num enfraquecimento das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, propiciando sua erosão e degradação. Este processo tem início com a remoção da vegetação natural e acentua-se com os cultivos subseqüentes, promovendo a exposição direta do solo aos fatores climáticos, resultando na perda de terra e nutrientes, redução dos teores de matéria orgânica e destruição da estrutura original de suas partículas (SOUZA e MELO, 2000).

Estes processos citados acima são mais evidentes nos solos da região semiárida, que sofrem efeitos dos fatores climáticos, elevadas temperaturas e baixas precipitações, tornando-se muito pobres em matéria orgânica e, conseqüentemente, deficientes em nitrogênio, o que limita a produção agrícola. Dentro deste contexto, o desenvolvimento de técnicas agrícolas conservacionistas e sustentáveis são fundamentais para otimização da produção, para que promovam a elevada produtividade e melhoria nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, favorecendo a atividade agrícola e, por consequência, a vida do (a) produtor (a) rural.

A adubação verde é uma alternativa de produção que minimiza os efeitos degradantes sobre o solo, pois promove a cobertura do solo, a disponibilidade de nutrientes e o incremento da capacidade de ciclagem e mobilização de nutrientes lixiviados ou pouco solúveis que estejam nas camadas mais profundas do perfil (CALEGARI et al., 1993).

As plantas mais utilizadas como adubo verde são as leguminosas, pois além de adicionarem carbono ao solo, adicionam quantidades de nitrogênio por meio do processo de fixação simbiótica de nitrogênio (N), realizado por bactérias do gênero *Rhizobium*, que ocorrem associadas a suas raízes, beneficiando, assim, a cultura comercial que sucede o seu cultivo.

A cultura do milho (*Zea mays* L.) desempenha papel de fundamental importância no aspecto sócio-econômico, principalmente para os pequenos agricultores da região semiárida; no entanto, seu cultivo é bastante exigente em termos de fertilidade de solo, podendo o uso de

leguminosas arbóreas e arbustivas, antecedendo seu cultivo, ser uma alternativa eficiente e ao alcance dos pequenos produtores para aumentar a produção (QUEIROZ, 2006). Isto certamente resultará em aumento da receita devido ao ganho de produtividade e melhoria da qualidade do produto, preservação do solo e redução do custo de produção.

Embora já se tenha um acervo significativo de conhecimentos básicos sobre diversas espécies vegetais viáveis como adubo verde, há a necessidade de se definir aquelas mais adequadas às distintas regiões edafoclimáticas brasileiras, principalmente nas condições semiáridas. Pois, a maior eficiência dos adubos verdes é potencializada pela escolha adequada da espécie, como também, pela determinação da população ótima, para que, só assim, haja produção ótima de biomassa.

Dessa forma, o presente trabalho teve por finalidade determinar o efeito de diferentes densidades de semeadura e espécies de leguminosas, utilizadas como adubo verde, na qualidade do solo e produtividade do milho.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ADUBAÇÃO VERDE

A adubação verde foi definida por Pieters, em 1927 como: “A prática de enriquecimento do solo com matéria vegetal não decomposta (exceto resíduos de culturas), nascida no lugar ou trazida de fora”. No entanto, este conceito é muito mais antigo, tendo início na China, na dinastia de Chou, no período compreendido entre 1134-247 a.C. (SOUZA, 1953; RESENDE, 2000).

Adubação verde é a prática de cultivo e incorporação de plantas, produzidas no local ou adicionadas, com a finalidade de preservar e/ou restaurar os teores de matéria orgânica e nutrientes dos solos, indo ao encontro da tendência mundial da busca de alimentos mais saudáveis, provenientes da agricultura orgânica ou produzidos com a mínima utilização de insumos químicos e degradação do meio ambiente (SILVA et al., 1999). Dentre diversos benefícios proporcionados, pode-se citar a melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo, favorecendo o crescimento e rendimento das culturas de interesse econômico em sucessão, ou seja, a capacidade produtiva do solo, além do controle das plantas espontâneas (SOUZA e PIRES, 2002)

A eficácia da adubação verde está condicionada à escolha adequada do adubo verde a ser plantado, levando-se em conta fatores climáticos, o solo, o sistema agrícola adotado e a finalidade desta adubação (GILLER, 2001). O comportamento das espécies em potencial é caracterizado quanto à capacidade de produzir biomassa vegetal, a qualidade desse material e a velocidade em que os nutrientes nele contidos estarão disponíveis para as culturas. A espécie que apresentar um bom crescimento vegetativo, com material rico em nutrientes, sistema radicular profundo e capacidade de associar-se a fungos micorrízicos e/ou bactérias diazotróficas, será considerada um adubo verde em potencial.

Outro fator importante na eficiência da adubação verde é a sincronia entre os nutrientes liberados pelos resíduos da planta e a demanda da cultura de interesse comercial. Se houver alta taxa de mineralização dos nutrientes contidos nas espécies utilizadas como adubo verde fora do período de maior demanda nutricional da cultura de interesse econômico, pode haver perdas por lixiviação e a cultura não será beneficiada (CREWS e PEOPLES, 2005).

Os adubos verdes promovem melhorias nas propriedades do solo, tais como: proteção do solo contra os impactos das chuvas e também da incidência direta dos raios solares; rompimento de camadas adensadas e compactadas ao longo do tempo; aumento do teor de matéria orgânica do solo; incremento da capacidade de infiltração e retenção de água no solo; diminuição da toxicidade do alumínio (Al) e manganês (Mn), devido a sua maior imobilização e elevação do potencial hidrogeniônico (pH); promoção do resgate e da reciclagem de nutrientes de fácil lixiviação; extração e mobilização de nutrientes das camadas mais profundas do solo e subsolo, tais como cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), fósforo (P) e micronutrientes; extração do fósforo fixado; fixação do N atmosférico de maneira simbiótica pelas leguminosas; inibição da germinação e do crescimento de plantas invasoras e seja por efeitos alelopáticos, seja pela simples competição por luz (VON OSTERROHT, 2002).

Embora se considere, de maneira generalizada, a adubação verde como sendo a incorporação ao solo de material vegetal fresco, utilizando-se gramíneas ou leguminosas, as últimas mostram-se mais apropriadas para tal finalidade, principalmente pelo fato de fixarem nitrogênio do ar, por meio de bactérias do gênero *Rhizobium*, que se associam simbioticamente às suas raízes, formando nódulos e enriquecendo o solo com este nutriente (MIYASAKA et al., 1984). Segundo Oliveira et al., (2002), as leguminosas podem ser utilizadas, pois, apesar de possuírem menor relação carbono:nitrogênio (C/N), apresentando uma maior velocidade na liberação de nutrientes durante a decomposição.

2.2 INFLUÊNCIA DA ADUBAÇÃO VERDE NAS PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS E BIOLÓGICAS DO SOLO

Segundo Wutke et al. (2009), a adubação verde pode apresentar muitos benefícios aos agroecossistemas, como acúmulo de matéria orgânica na superfície do solo; reciclagem de nutrientes e aporte de N por meio da fixação biológica, principalmente pelas leguminosas; melhoria dos atributos químicos e físicos do solo; maior retenção e capacidade de infiltração de água; aumento da biodiversidade no solo; controle dos efeitos da temperatura no solo; diminuição das perdas de solo por erosão; sequestro de carbono e controle de plantas espontâneas.

A incorporação de adubos verdes proporciona, dependendo das condições, efeitos como: aumentos no teor de matéria orgânica e maior disponibilidade de nitrogênio e outros nutrientes; redução da lixiviação e aumento da nitrificação e da desnitrificação; concentração dos nutrientes na camada arável (ROSOLEM et al., 2003).

Os restos vegetais deixados na superfície do solo, além de protegê-lo da erosão, constituem reserva de nutrientes que podem ser disponibilizados para a cultura principal subsequente, reduzem a evaporação da água e auxiliam no controle de plantas daninhas, dissipando também o impacto das gotas de chuva.

Os adubos verdes, previamente à incorporação, exercem uma presença marcante como proteção do solo, principalmente nas camadas superficiais, contra os fatores ambientais, sobretudo a radiação solar e o impacto das gotas de chuva. Estas destroem os agregados do solo promovendo a obstrução dos poros superficiais pelo acúmulo de argilas, resultando na redução da capacidade de infiltração de água no solo, favorecendo o escoamento horizontal do excesso de água (MACRAE et al., 1987). Segundo o autor, essa proteção afeta sensivelmente a amplitude de variação térmica, o armazenamento, a evaporação de água do solo e perdas por erosão.

A atividade biológica é afetada pela adubação verde devido à atividade exercida sobre a matéria orgânica do solo que, por sua vez, supre os microorganismos presentes com as substâncias orgânicas e inorgânicas necessárias ao seu desenvolvimento, estabelecendo, a partir da natureza do material vegetal adicionado, um maior desenvolvimento de determinados organismos microbianos, intensificando processos bioquímicos, que resultam na melhoria da capacidade produtiva dos solos.

Em relação às características químicas, pode-se dizer que a adubação verde está relacionada às mudanças decorrentes da decomposição de resíduos vegetais, com acúmulo de matéria orgânica e nutriente em camadas mais superficiais do solo. A liberação de CO₂ e ácidos orgânicos durante a decomposição do adubo verde favorecem a solubilização dos minerais do solo, alterando o pH (liberação ou consumo de prótons durante a decomposição dos resíduos) através da formação de ácidos orgânicos e das interações com a fração mineral do solo contribuindo, conseqüentemente, para diminuição dos efeitos tóxicos do alumínio e manganês (KRETZSCHMAR et al., 1991).

Aita et al. (2001) estudando o potencial de plantas de cobertura de solo para o fornecimento de nutrientes, relataram maior eficiência das espécies de leguminosas em acumular nitrogênio na parte aérea, quando comparadas com as espécies de gramíneas. Nas

regiões tropicais, temperatura e umidade elevadas durante a maior parte do ano, favorecem a decomposição dos restos culturais, sendo necessária a utilização de coberturas vegetais com a finalidade de proteção superficial do solo, formação de palhada e reciclagem de nutrientes (LIMA, 2001; CRUSCIOL et al., 2005).

2.3 UTILIZAÇÃO DE PLANTAS LEGUMINOSAS NA ADUBAÇÃO VERDE

A família botânica Leguminosae é uma das mais importantes nos trópicos, com representantes herbáceos, arbustivos e arbóreos distribuídos em mais de 650 gêneros (FRANCO et al., 2003); do ponto de vista ecológico, destaca-se pela sua ampla ocorrência e adaptação aos diversos biomas (conjunto de ecossistemas) brasileiros. Além disto, é a terceira maior família dentro das angiospermas, plantas caracterizadas principalmente por possuírem óvulo e sementes encerrados em um ovário, esta família é composta por espécies que apresentam características diversas quanto ao ciclo vegetativo, produção de fitomassa, porte e exigência em relação a clima e solo (BARRETO et al., 2006).

As plantas da família das leguminosas são as mais utilizadas na adubação verde, devido aos seus diversos benefícios, sendo comprovada a grande eficiência de algumas delas para o controle de pragas e doenças, através de efeitos alelopáticos (ESPÍNDOLA et al., 2005); apresentam sistema radicular profundo e ramificado, permitindo maior extração e reciclagem de outros nutrientes, assim como melhor aproveitamento dos fertilizantes aplicados (PERIN et al., 2007). 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 microorganismos do solo e a reciclagem de nutrientes (ZOTARELLI, 2000).

Além disso, as leguminosas possuem um grande potencial em fixar nitrogênio atmosférico, via atuação dos rizóbios, bactérias que agem em simbiose com as plantas hospedeiras (DIAS et al., 2004). As leguminosas contêm altos teores de nitrogênio em seus tecidos, no período de floração, o que significa uma contribuição acima de $150 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de nitrogênio, com um percentual de 60 a 80% de nitrogênio proveniente da fixação biológica de nitrogênio (FBN) (GILLER, 2001; CASTRO et al. 2004).

O nitrogênio é o elemento mais abundante na atmosfera, porém indisponível às plantas devido à grande estabilidade da molécula, o que torna necessária sua adição ao solo pelo uso

de fertilizantes. Muitos compostos bioquímicos presentes nas células vegetais possuem nitrogênio. A maioria dos ecossistemas naturais e agrícolas apresenta um expressivo ganho na produtividade após serem fertilizados com nitrogênio inorgânico (TAIZ e ZEIGER, 2004; SALA et al., 2007).

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) é um recurso natural renovável, passível de manejo, barato e que não causa impacto ambiental. A FBN consome em torno de 2,5% da energia da fotossíntese do planeta. Este mecanismo é responsável por 65% do N^2 (nitrogênio diatômico) incorporado nos seres vivos do planeta, representando 8,5% da absorção total de nitrogênio. Por ano, são fixados 178 milhões de megagramas de N^2 , sendo 139 milhões de megagramas de N^2 nos ecossistemas terrestres e 39 milhões de megagramas de N^2 nos sistemas aquáticos. Estima-se que a vida no planeta terminaria em 30 anos se a FBN parasse de ocorrer (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

Segundo Miyasaka et al., (1984), as leguminosas mais utilizadas para adubação verde, nas condições semiáridas, são as dos gêneros *Crotalaria*, *Cajanus*, *Canavalia*, entre outras, ressaltando as espécies crotalárias (*Crotalaria juncea* e *Crotalaria spectabilis*), mucuna preta (*Mucuna aterrima*), feijão comum (*Phaseolus vulgaris*), soja (*Glycine Max*), feijão guandu (*Cajanus cajan*), lab-lab (*Dolichos lablab*) e feijão de porco (*Canavalia ensiformis*)

A escolha de espécies vegetais para introdução nos sistemas de culturas depende da adaptação delas às condições de clima de cada região e do interesse do produtor (SILVA e ROSOLEM, 2001). Segundo Alvarenga et al. (2001) e Chaves e Calegari (2001) as espécies escolhidas devem crescer bem em condições de baixa a média fertilidade do solo, e devem ter capacidade de adaptação a baixos valores de pH do solo (ERNANI et al., 2001). A produção de fitomassa das espécies utilizadas como cobertura é decorrente das condições climáticas, edáficas e fitossanitárias (AMADO et al., 2002) e principalmente do sistema radicular. Quanto mais o sistema radicular penetrar no solo, tanto maior será a produção de biomassa, além de promover a descompactação do solo. Além disso, algumas leguminosas são usadas com eficiência no controle de nematóides (RIBAS et al., 2002) e da vegetação espontânea (ESPÍNDOLA et al., 2005)

2.3.1 Espécies de leguminosas mais utilizadas na adubação verde

2.3.1.1 Feijão guandu (*Cajanus cajan* L.)

É uma leguminosa originária da África e muito cultivada em todas as regiões do Brasil, sendo utilizada para adubação verde; seus ramos são utilizados na alimentação de ruminantes e os grãos servem para a alimentação humana. É um arbusto semi-perene cujo ciclo que vai da sementeira até o pleno florescimento dura entre 80 (variedades anãs) e 180 (variedades normais) dias. A produção de massa verde é de 20 a 40 t ha⁻¹ (FORMENTINI et al., 2008).

No Brasil, a cultura do guandu foi introduzida, principalmente, devido a ser resistente à seca e por crescer em solos pobres, apresentando bons resultados como fornecedora de massa verde nos pastos em períodos de chuvas escassas, além de ser planta muito versátil, adaptada às mais diversas condições climáticas do país, sendo utilizada também na rotação de culturas (ALVES e MEDEIROS, 1997).

O feijão guandu é uma espécie que faz ajuste osmótico, ou seja, aumenta a concentração salina no seu interior, de modo que permaneça um gradiente osmótico favorável para absorção de água pelas raízes, quando submetida a meio salino e, portanto, é mais adaptada à seca que outras leguminosas anuais. Com o ajustamento osmótico, a planta extrai mais água do solo e perde menos água para a atmosfera, podendo manter seus estômatos um pouco mais abertos, para realizar a assimilação de CO₂ (PIMENTEL, 1998).

A habilidade de enraizamento do guandu a maiores profundidades não mostra, somente, seu maior potencial de absorção da água, mas também a possibilidade de reciclagem de nutrientes das camadas mais profundas; suas raízes estão envolvidas direta e indiretamente no processo de estabilização da estrutura do solo; diretamente, elas formam um emaranhado que desempenha um importante papel no ponto de vista físico, pois aproximam e protegem os agregados do solo; indiretamente, pela exsudação, quando após sua decomposição, elas fornecem materiais orgânicos estabilizantes e deposições de carbono abaixo da superfície, materiais estes de maior importância para a manutenção da estrutura do solo (PERFECT et al., 1990); os canais deixados após a decomposição das raízes podem facilitar o crescimento das culturas subsequentes.

Arihara et al. (1991) observaram que o crescimento radicular da soja e do milho ficavam geralmente confinados nos primeiros 30 a 45 cm do solo, pois suas raízes eram incapazes de penetrar na camada adensada localizada logo abaixo. Entretanto, quando essas culturas eram plantadas em sucessão ao guandu, os seus sistemas radiculares cresciam em

profundidade, através dos canais deixados na camada adensada pelas raízes do guandu, após sua decomposição.

Queiroz (2006) avaliou, nos anos de 2003 a 2005, a produtividade de fitomassa da parte aérea de sete espécies de leguminosas (*Albizia lebbeck*, *Peltophorum dubium*, *Leucaena leucocephala*, *Cajanus cajan*, *Sesbania virgata*, *Mimosa caesalpiniaefolia* e *Gliricidia sepium*) e o acúmulo de N, P e K nessas leguminosas arbóreas em sistemas agroflorestais de aleias, bem como o efeito da adição de fósforo sobre as leguminosas. Ele verificou, tanto em experimento com adição de P, quanto sem aplicação de P, que a maior produtividade de fitomassa seca da parte aérea foi obtida pelo guandu, respectivamente 5.371 kg ha⁻¹ e 6.017 kg ha⁻¹.

2.3.1.2 Feijão de porco (*Canavalia ensiformes*)

Leguminosa anual, rústica e de hábito herbáceo; originária da América Tropical, é muito cultivada em regiões tropicais e equatoriais; é resistente às altas temperaturas e à seca; não tem boa palatabilidade, sendo, portanto, pouco usada como pastagem, podendo ser tóxicas aos animais. Essa espécie é recomendada para adubação verde, sendo cortada e incorporada ao solo no início da floração, aproximadamente 120 dias após o plantio (RODRIGUES et al., 2004).

O feijão de porco é considerado uma das principais espécies utilizadas como adubação verde na região dos tabuleiros costeiros do Nordeste do Brasil, tendo em vista a sua grande capacidade de produção de biomassa e fixação de nitrogênio. No período de floração, recomenda-se a realização da roçagem manual ou mecânica, permanecendo a biomassa na superfície do solo. Além de apresentar maior aporte de nitrogênio, apresenta também como vantagem a elevação dos teores de matéria orgânica, maior proteção contra a erosão e redução da amplitude térmica do solo (FONTES et al., 2002).

Heinrichs et al. (2005) avaliaram as espécies mucuna anã (*Mucuna deeringiana*), guandu anão (*Cajanus cajan*), crotalaria (*Crotalaria spectabilis*) e feijão de porco (*Canavalia ensiformis*) em cultivo consorciado com o milho; o feijão de porco apresentou maior produção de fitomassa e acúmulo de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre. Além de o feijão de porco apresentar melhor desenvolvimento e adaptação ao sistema proposto em

relação aos demais tratamentos, constatou-se redução na ocorrência de plantas daninhas, causando, possivelmente, efeito supressor alelopático a estas plantas.

No Submédio São Francisco, além do feijão de porco, mucuna-preta, guandu e crotalária júncea, todos com massa seca da parte aérea acima de 5,00 Mg ha⁻¹, são citadas como as leguminosas mais promissoras para adubação verde (FARIA et al., 2007).

Para a adubação verde em consórcio com o cafeeiro destacam-se: a crotalária (*Crotalaria juncea* L.), o feijão guandu (*Cajanus cajan* L.), a mucuna preta (*Stilozobium aterrimum* L), e a soja (*Glycine max* (L). Merr) por serem plantas rústicas de eficiente desenvolvimento vegetativo, adaptadas às condições de solos de baixa fertilidade e elevadas temperaturas (PEREIRA, 2004).

2.3.1.3 Lab-lab (*Dolichos lablab*)

O lab-lab é uma leguminosa anual ou bianual originária da África, de hábito de crescimento trepador (cipó), cujo ciclo do plantio ao pleno florescimento é de 120 a 150 dias; com produtividade entre 15 a 30 toneladas de massa verde e 3 a 6 toneladas de massa seca por ciclo; fixa entre 120 a 240 kg de N ha⁻¹; se desenvolve melhor, em solos bem drenados e férteis, porém é empregado, com êxito, como adubação verde, para restauração de terras pobres, sendo, também, utilizada como forragem nos meses de inverno; não tolera o fogo e o frio excessivo; por ser uma leguminosa não muito agressiva, é boa para consórcio com culturas plantadas em espaçamento menores; cujo crescimento inicial é um tanto lento e por isto exige uma capina inicial; é suscetível às vaquinhas (*Cerotoma* sp., *Diabrotica speciosa*), percevejos, carunchos e é boa hospedeira de nematóides formadores de galhas (FORMENTINI et al., 2008).

As leguminosas mucuna preta, mucuna cinza e lab-lab são promissoras para o uso como adubos verdes, apresentando produção de fitomassa em torno de 3 t ha⁻¹, considerável acúmulo de nutrientes na matéria seca da parte aérea, com destaque para o N (90 kg ha⁻¹), K (50 kg ha⁻¹) e Ca (45 kg ha⁻¹), nas condições da região de várzeas do Tocantins (OLIVEIRA et al, 2010). Miranda et al. (2010) observaram maior acúmulo de K em lab-lab quando comparado a outras leguminosas, devido aos maiores teores desse nutriente no solo, em parcelas cultivadas pelo lab-lab, sendo assim, compatível com a maior acumulação de K na parte aérea.

2.3.1.4 Mucuna anã (*Mucuna duringiana*)

A mucuna anã é uma leguminosa originária da África, de hábito de crescimento herbáceo, determinado e cujo ciclo, do plantio ao pleno florescimento, é de 90 a 120 dias; produz entre 10 a 20 toneladas de massa verde, 2 a 4 toneladas de massa seca e fixa entre 60 a 120 kg de N por ha/safra; é uma planta própria para consórcios com culturas plantadas em espaçamentos menores uma vez que não tem hábito trepador, apresenta porte baixo e por isso, não compete por luz com a cultura principal; também é própria para áreas que terão um tempo menor de inatividade (FREITAS et al., 2003; BARRETO et al., 2006; FORMENTINI et al., 2008).

A mucuna anã é recomendada para adubação verde, principalmente em olericultura e nas entrelinhas de frutíferas perenes e cafeeiros, pois atinge altura máxima ao redor de 40 a 50 cm; ela pode ser considerada como adubo verde de verão, apresentando melhor desenvolvimento quando cultivada na primavera-verão; aproximadamente aos 80 dias após a semeadura, as plantas estarão em início de frutificação (formação de vagens), período em que a fitomassa pode ser roçada e deixada sobre o solo (BRAGA et al., 2006).

2.4 INFLUÊNCIA DA DENSIDADE DE SEMEADURA DAS LEGUMINOSAS

A produção de biomassa é uma característica reconhecida das leguminosas, sendo influenciada pela densidade de plantas ou distribuição espacial destas, e também pelas condições edafoclimáticas locais; entretanto, existe uma grande variação nessas produções conforme as condições nas quais essas leguminosas crescem (ALVARENGA et al., 1995).

No entanto, além da escolha da espécie a ser utilizada como adubo verde, o grau de sucesso obtido com a utilização dessa prática é altamente dependente da quantidade de fitomassa adicionada ao solo (KUO et al., 1997). Desta forma, a determinação da população ótima de diversas leguminosas, para produção de fitomassa com fins de incorporação ao solo, é fundamental para a maximização dos efeitos da prática de adubação verde. Para diversas culturas, isto está bem estabelecido, tendo sido observado que, além de uma determinada população, ocorrem à estabilização ou redução da produtividade em função da competição intra-específica por água, nutrientes, luz e outros recursos (HOLLIDAY, 1960; SILVA e

NEPOMUCENO, 1991), além de provocar mudanças morfofisiológicas nas plantas (ARGENTA et al., 2001). A densidade de semeadura das leguminosas apresenta também forte influência sobre o controle de plantas daninhas, em decorrência do maior ou menor sombreamento.

Fernandes et al. (1999) ao avaliarem o efeito de diferentes densidades de plantas na produtividade de biomassa aérea seca de *Crotalaria spectabilis* e *C. breviflora*, verificaram que o adensamento populacional contribuiu para o aumento de produtividade de biomassa aérea seca destas leguminosas. O uso de culturas de cobertura para produção de adubo verde e redução das populações das plantas tem sido avaliado e recomendado por alguns autores, porém é necessária a escolha da espécie adequada, principalmente quanto à uniformidade de crescimento (SEVERINO e CHRISTOFFOLETI, 2004).

Duarte Júnior e Coelho (2008) observaram que o feijão de porco, juntamente com a mucuna preta, apresentou elevada taxa de cobertura inicial, quando o feijão de porco proporcionou 100% de taxa de cobertura aos 70 dias após a emergência das plântulas. Porém, os autores destacaram a capacidade da crotalaria juncea ao cobrir plenamente o solo aos 51 dias após a emergência.

2.5 CULTURA DO MILHO

O milho é uma monocotiledônea pertencente à família das poáceas, gênero *Zea*, cientificamente denominado *Zea mays* L; seu nome, de origem indígena caribenha, significa sustento da vida; é uma planta de ciclo vegetativo variado, evidenciando desde extremamente precoces, cuja polinização pode ocorrer 30 dias após a emergência, até mesmo aqueles cujo ciclo pode alcançar 300 dias. Contudo, nas condições brasileiras, a cultura do milho apresenta ciclo variável entre 110 e 180 dias, em função da caracterização das cultivares (superprecoce, precoce e normal), período este compreendido entre a semeadura e a colheita (FANCELLI e DOURADO- NETO, 2004).

A cultura do milho é uma das mais cultivadas no mundo, fornecendo produtos amplamente utilizados para a alimentação humana e animal e matérias-primas para a indústria, notadamente em função da quantidade e da natureza das reservas acumuladas nos grãos (SEVERINO, 2005). No Brasil, destaca-se, das demais culturas exploradas, por estar

entre os cereais mais produzidos, e por ocupar a maior área cultivada no país, aproximadamente 14,3 milhões hectares (CONAB, 2007).

No Nordeste o milho é uma das culturas mais importantes, principalmente visando às produções de milho verde e de grãos, que são as principais fontes de energia diária de alimentação; é explorada em todos os estados, ocupando, em média, 2.961,600 hectares de área plantada, com rendimento de 1.049 kg ha⁻¹ (CONAB, 2007); inicialmente cultivado, principalmente, sob condições de sequeiro, atualmente, o milho é explorado nesta região também com irrigação devido aos incentivos dados pelos governos estadual e federal.

No Estado Rio Grande do Norte, o milho é cultivado em todos os 167 municípios, para obtenção de espigas verdes ou grãos secos (GOMES et al., 2007) e ocupa, em média, 82,6 mil hectares de área plantada, com produtividade média de 545 kg ha⁻¹ de grãos secos (CONAB, 2007); neste Estado, a cultura era explorada especialmente nas pequenas propriedades agrícolas, mas passou a ser de interesse de grandes empresas de fruticultura, que cultivam o meloeiro (*Cucumis melo* L.) irrigado durante a estação seca e cultivam o milho durante a estação chuvosa. O interesse pelo milho é resultante de seu cultivo fácil, sem grandes problemas de pragas, doenças e acamamento e pela procura por seus produtos (espigas verdes, grãos e palhada).

A cultura do milho tem um alto potencial produtivo, alcançando 10 t ha⁻¹ de grãos, no Brasil, em condições experimentais e por agricultores que adotam tecnologias adequadas. No entanto, o que se observa na prática são produtividades muito baixas e irregulares, ao redor de 3,5 t ha⁻¹ de grãos (CONAB, 2011). Segundo Coelho e França (1995), a fertilidade do solo é um dos principais fatores responsáveis por esta baixa produtividade.

Dentre os nutrientes essenciais, o nitrogênio (N) desempenha um papel no metabolismo da planta do milho, pois faz parte de moléculas essenciais para a planta, e é o nutriente absorvido em maior quantidade, sendo por isso o fator mais limitante do crescimento e produção das plantas. Esta limitação ocorre porque as plantas requerem quantidades relativamente grandes de N e porque a maioria dos solos não possui N suficiente em forma disponível para sustentar os níveis de produção desejados. Como esta deficiência pode diminuir o rendimento e a qualidade dos grãos, buscam-se medidas de adubação para assegurar que níveis adequados estejam disponíveis às plantas. Entretanto, essa prática é limitada, pois esses insumos agrícolas apresenta alto custo, sendo muitas vezes inviável ao pequeno produtor.

A formação de grãos na cultura do milho está estreitamente relacionada com a translocação de açúcares e de N de órgãos vegetativos, principalmente de folhas, para os grãos (SCHREIBER et al., 1998). Segundo Rao et al. (1992), o aumento de produtividade proporcionado pelo N pode ser atribuído, também, aos efeitos sobre o crescimento do sistema radicular do milho.

2.6 INFLUÊNCIA DA ADUBAÇÃO VERDE NA CULTURA DO MILHO

No Brasil a cultura do milho ocupa área de destaque na agricultura, sendo cultivada ininterruptamente num mesmo solo por vários anos, acarretando compactação do solo, queda na capacidade produtiva do mesmo e, conseqüentemente, ocasionando queda na produtividade da cultura.

Dos diversos recursos de que lança mão para melhorar as características químicas, físicas e biológicas destes solos, ressalta-se em importância e viabilidade, o da adição de matéria orgânica sob forma de adubação verde. Essa prática é reconhecida como alternativa viável na busca da sustentabilidade dos solos agrícolas.

A reciclagem de nutrientes e o aproveitamento dos restos de culturas como fonte de adubo orgânico são relevantes para o adequado manejo da fertilidade do solo. A versatilidade do milho para inclusão em rotação de cultura já é amplamente conhecida, sendo uma planta de raízes fasciculadas e de alta exigência em nitrogênio, deve ser incluído em rotação com leguminosas (IAPAR, 1991).

O cultivo de leguminosas antecedendo o milho aumenta a disponibilidade de N no solo, a absorção de N pela planta e o rendimento de grãos, sendo o sistema de manejo da leguminosa importante para a melhoria dos componentes de produção da cultura.

O N é um nutriente importante para o milho, principalmente nos primeiros estádios de desenvolvimento da cultura. Assim, se no início do seu desenvolvimento o solo estiver bem nutrido em N, a planta definirá uma espiga maior e com maior número de fileiras de grãos, necessitando, porém de níveis adequados de N para o seu completo desenvolvimento e para o enchimento dos grãos. A adubação verde consegue nutrir a planta de milho nos primeiros dias após a germinação, e o seu resíduo no solo favorece a manutenção do N fundamental à planta. Como o sistema orgânico preconiza a não utilização de fertilizantes de alta solubilidade, a

utilização de sistemas agrícolas com espécies leguminosas é uma estratégia eficiente em promover o acúmulo de N total na camada superficial do solo, para a nutrição de milho.

Embora tenha sido constatado incremento na capacidade de suprimento de N do solo pelo uso de leguminosas por longo prazo, ou seja, por vários cultivos, a presença dos resíduos recentes antes da cultura de interesse econômico foi a principal responsável pela nutrição do milho, na ausência da adubação com nitrogênio mineral (AMADO et al., 1999).

De acordo com Fancelli e Dourado Neto (2004), o emprego de adubos verdes antecedendo a cultura do milho pode contribuir para reduzir a necessidade de adubação de cobertura, perfazendo economia de 40 a 80 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Além disso, segundo Tokura e Nóbrega (2006), na semeadura direta, os resíduos vegetais presentes na cobertura têm importância fundamental e podem apresentar efeitos alelopáticos sobre as plantas invasoras.

Ceretta et al. (1994) verificaram que o cultivo de leguminosas na primavera é uma técnica eficiente no aumento da disponibilidade de N para o milho em sucessão, principalmente, quando estas são incorporadas ao solo (preparo convencional).

Henrichs et al. (2001), avaliando o milho cultivado em sucessão à consorciação de aveia mais ervilhaca em diferentes proporções, concluíram que a proporção de 10% de gramínea mais 90% da leguminosa foi a que mais favoreceu a absorção de N e a produtividade de grãos. As consorciações, além de terem potencial de balanço positivo sobre a disponibilidade de N, apresentam várias outras vantagens, tais como: maior produção de matéria seca, maior ciclagem de nutrientes, redução da infestação de pragas, aumento da atividade biológica, maior resistência a estresses, reduzindo a variação interanual na quantidade de resíduos adicionados ao solo.

Silva et al. (2006) trabalharam com N marcado na cultura do milho em sucessão às culturas de milheto, crotalária e vegetação espontânea, e com doses de N. Verificaram que a maior parte do N na planta (77%) foi proveniente do solo e de outras fontes (resíduos vegetais das plantas de cobertura, precipitação pluvial e fixação biológica), demonstrando a importância do N orgânico do solo e do N proveniente de outras fontes, no fornecimento de N para o milho.

Em um Latossolo Vermelho distroférico, Spagnollo et al. (2002), avaliaram o efeito do cultivo intercalar de leguminosas estivais para cobertura de solo (feijão-de porco, guandu, mucuna-cinza e soja preta) no fornecimento de N e no rendimento de grãos de milho, no Estado de Santa Catarina, em cultivo mínimo durante seis anos. De maneira geral, o cultivo intercalar das leguminosas estivais determinou aumento no suprimento de N e,

conseqüentemente, no rendimento de grãos de milho na safra seguinte. A mucuna-cinza promoveu maior fornecimento de N e rendimento de grãos ao milho, seguido pelo feijão de porco e pelo guandu anão.

De-polli e Chada (1989) testaram espécies de leguminosas (mucuna-preta, crotalária - 2 ciclos e substituída pelo feijão de porco) na entressafra, com e sem incorporação, em comparação com a adubação mineral (80 kg ha^{-1} de N nos três primeiros anos e 100 kg ha^{-1} no quarto) para a cultura do milho, em quatro ciclos; eles calcularam um fornecimento anual de 107,5, 86,0, 24,4 e 22,8 kg ha^{-1} de N pelo feijão de porco, mucuna-preta, vegetação espontânea e crotalária, respectivamente, estimados pela produtividade média anual de fitomassa seca da parte aérea das leguminosas e vegetação espontânea. A maior produtividade de grãos de milho ocorreu no tratamento crotalária/feijão de porco incorporado, seguido pelo N mineral e pela mucuna-preta (incorporada ou em cobertura).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E ÁREA DO EXPERIMENTO

O experimento foi instalado na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, localizada em Alagoinha, zona rural de Mossoró, no Estado do Rio Grande do Norte, cujas coordenadas geográficas são 5° 03' 40" de latitude Sul e 37° 23' 51" de longitude Oeste, altitude 72 m, no período de setembro de 2010 a abril de 2011. O clima, segundo a classificação de Koppen, é BSW_h, ou seja, muito seco, com estação chuvosa no verão atrasando-se para o outono (CARMO FILHO et al., 1987). O terreno havia sido cultivado com a cultura da mamona no ano de 2009 e se encontrava sob pousio há um ano.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

O solo da área experimental foi classificado em Argissolo Vermelho-Amarelo, de textura franco-arenosa. Na implantação do experimento foi realizada uma coleta do solo para caracterização do mesmo na profundidade de 0-20 cm (Tabela 1), cuja análise química seguiu a metodologia da EMBRAPA (1999).

Tabela 1 – Características químicas do solo na camada arável antes da instalação do experimento, Mossoró-RN, 2010

pH	CE	M.O.	N	P	K	Na	Ca	Mg	SB	CTC	PST
	dS m ⁻¹	%	-----	mg dm ⁻³	-----	-----	-----	cmol _c dm ⁻³	-----	-----	%
6,0	0,24	0,82	0,06	17,1	147,6	19,2	1,63	1,64	3,74	5,3	1,6

P, K e Na: extraídos com solução de Mehlich⁻¹; Ca e Mg: extraídos com KCl 1 mol L⁻¹; pH em água; CTC a pH 7,0

A fonte de água utilizada nas irrigações foi retirada do poço do aquífero Arenito Açú. Foi coletado um volume desta água para fim de caracterização. As características químicas da mesma são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização química da água utilizada na irrigação do experimento. Mossoró-RN, 2010.

K	Na	Ca	Mg	Cl	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cátions	Ânions	RAS	Dureza	CE	pH
----- mmol _c L ⁻¹ -----					----- (mmol _c L ⁻¹) ^{0,5} -----					mg L ⁻¹	dS m ⁻¹	
1,77	2,33	2,09	1,73	2,38	0,90	4,26	11,53	7,54	1,80	191,00	0,53	8,18

RAS - Relação de Adsorção de Sódio

3.3 MATERIAIS VEGETAIS UTILIZADOS

3.3.1 Milho

A variedade utilizada foi a AG 1051, que é um híbrido duplo, semiprecoce, de grão amarelo e dentado, alta resistência ao acamamento, altura da espiga 1,60 m e altura da planta 2,60 m, desenvolvido para produção de grãos, silagem e espigas verdes.

3.3.2 Leguminosas

Como adubos verdes foram utilizados quatro espécies de leguminosas: feijão guandu (*Cajanus cajan* L.), feijão de porco (*Canavalia ensiformes*), lab-lab (*Dolichos lablab*), mucuna anã (*Mucuna duringiana*). As sementes das mesmas foram adquiridas de empresa comercial produtora de sementes.

3.4 DELINEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados em esquema fatorial 4x4, com 16 tratamentos e quatro repetições, totalizando 64 parcelas. Cada parcela era determinada por uma área de 1 m², separadas entre elas também por 1 m², perfazendo uma área de 225 m². Os tratamentos aplicados às parcelas foram constituídos por quatro espécies de leguminosas e quatro densidades de semeadura, os quais são descritos na Tabela 3.

Tabela 3 – Caracterização dos tratamentos aplicados às parcelas do experimento de densidades de semeadura de leguminosas

Tratamento	Espécie de leguminosa	Densidade de semeadura
G10	Feijão guandu	10 plantas m ⁻²
G20	Feijão guandu	20 plantas m ⁻²
G30	Feijão guandu	30 plantas m ⁻²
G40	Feijão guandu	40 plantas m ⁻²
FP10	Feijão de porco	10 plantas m ⁻²
FP20	Feijão de porco	20 plantas m ⁻²
FP30	Feijão de porco	30 plantas m ⁻²
FP40	Feijão de porco	40 plantas m ⁻²
LL10	Lab-lab	10 plantas m ⁻²
LL20	Lab-lab	20 plantas m ⁻²
LL30	Lab-lab	30 plantas m ⁻²
LL40	Lab-lab	40 plantas m ⁻²
M10	Mucuna-anã	10 plantas m ⁻²
M20	Mucuna-anã	20 plantas m ⁻²
M30	Mucuna-anã	30 plantas m ⁻²
M40	Mucuna-anã	40 plantas m ⁻²

3.5 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi instalado no mês de Setembro de 2010, quando foram feitas as demarcações da área, localizando-se as parcelas, e o preparo do solo, como nos mostra a Figura 1. No preparo do solo foi realizada aração e gradagem. O experimento foi constituído por duas etapas: na primeira, o cultivo das espécies de leguminosas e na segunda, a cultura comercial do milho.

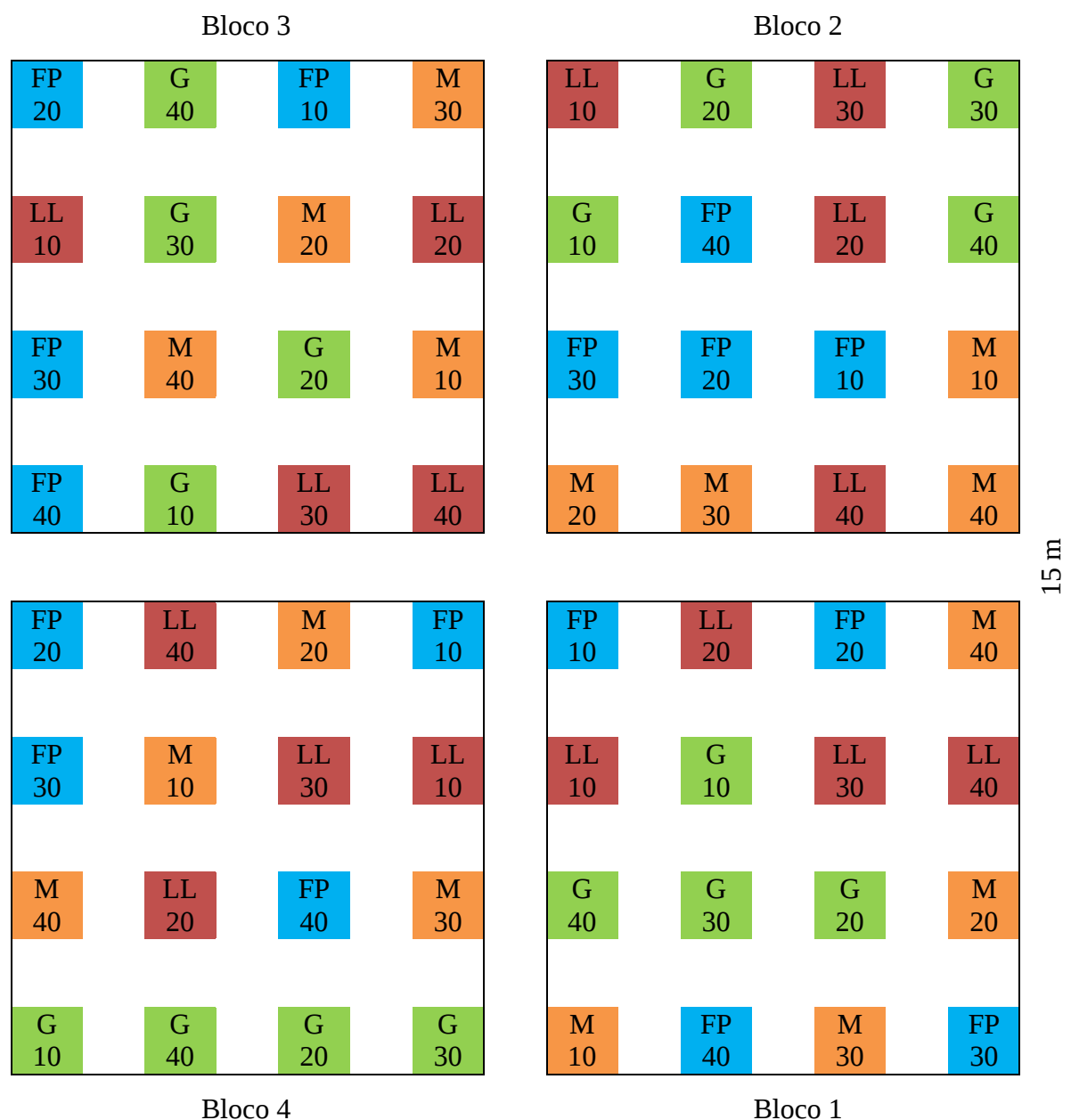


Figura 1 – Croqui da área experimental cultivada com diferentes densidades de semeadura e espécies de leguminosas. Mossoró-RN, UFERSA, 2010.

3.5.1 Condução das espécies de leguminosas

A semeadura foi realizada no dia 06 de outubro de 2010, manualmente, colocando-se três sementes em cada cova, a aproximadamente 5 cm de profundidade, durante a qual se utilizou, para o arranjo do espaçamento entre elas, um papelão demarcado para cada densidade utilizada. Após uma semana, efetuou-se o desbaste, de forma a permanecer uma planta por cova.

Por ocasião do pleno florescimento, aos 90 dias após o plantio, as leguminosas foram roçadas manualmente através de facões, acondicionadas em sacolas e pesadas para determinação da produção total de biomassa por parcela; em seguida, foram incorporadas com o uso de enxadas e deixadas em pousio por 30 dias; antes deste corte (roçagem), foram amostradas duas plantas por parcela para determinação da biomassa e dos teores nutricionais.

As plantas foram coletadas de forma aleatória procurando-se amostrar plantas normais e representativas de cada parcela; para isto retirou-se toda a planta, sendo posteriormente cortada a altura do colo para separar a parte aérea do sistema radicular, em seguida identificou-se e acondicionou-se em sacolas de papel para serem levadas ao laboratório. A massa seca foi obtida por meio de balança analítica, após secagem das amostras em estufa de circulação forçada, a 65°C, até atingir o peso constante. Com a soma da matéria seca da parte aérea e da raiz foi obtida a matéria seca total. Em seguida as amostras da parte aérea foram moídas em micro moinho de facas tipo Wiley para a determinação dos teores de nutrientes.

Os tratos culturais consistiram de quatro capinas, uma a cada 10 dias, não se realizando nenhum controle químico e nenhuma adubação mineral. O sistema de irrigação utilizado foi o de aspersão, tendo sido utilizados aspersores com vazão de 420 L h⁻¹.

3.5.2 Condução da cultura do milho

Após os 30 dias de incorporação das leguminosas, foi realizada a semeadura do milho (AG1051) com 3 sementes por cova, espaçadas entre si por 0,40 m, e assim como nas leguminosas, houve o auxílio de um papelão previamente demarcado. O desbaste foi realizado quinze dias após a semeadura, de forma a ficar duas plantas de milho por cova, constituindo na área útil, 14 plantas de milho em cada parcela, e como bordaduras foram colocadas 10 plantas na área entre as parcelas, totalizando 20 plantas do milho, se pode observar na Figura 2.

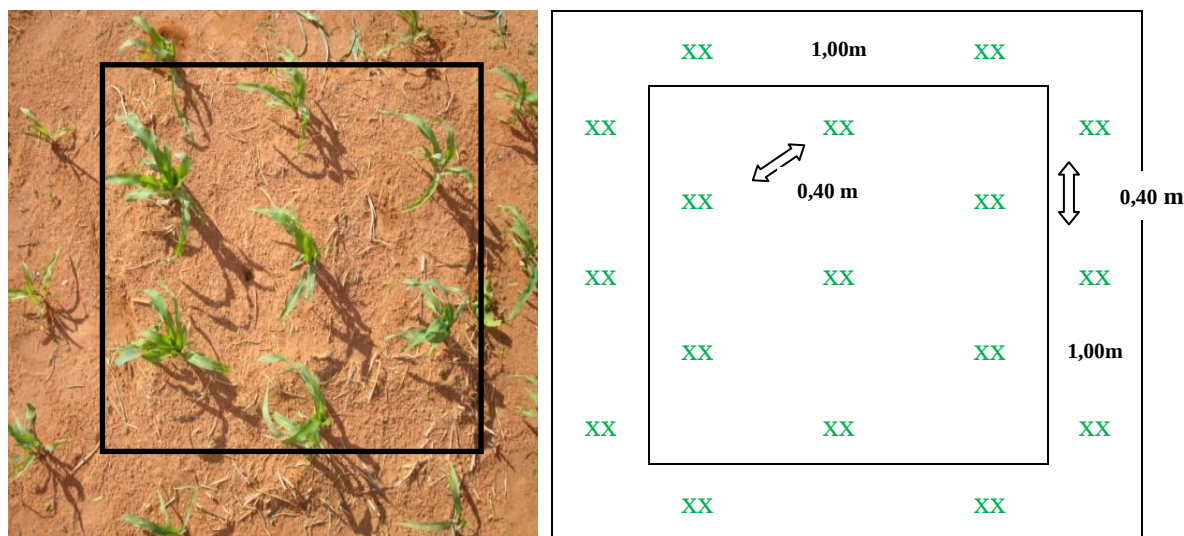


Figura 2 – Caracterização da parcela cultivada com milho. Mossoró-RN, UFERSA, 2010.

Os tratos culturais consistiram de duas capinas manuais, uma a cada 20 dias, para o controle de plantas daninhas e não houve nenhuma realização de adubação mineral, somente a adubação proveniente dos adubos verdes. Foi utilizado o inseticida Lannate 215 g L⁻¹ (metomil), sete dias após a semeadura, seguido de mais três aplicações a cada dez dias, com o intuito de controlar a lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*). A colheita do milho foi realizada 122 dias após o plantio.

O experimento foi irrigado por três fileiras de aspersores espaçados de 12 x 12m de forma a cobrir toda a área. O turno de rega foi de dois dias, com três aplicações semanais. As irrigações foram iniciadas após o plantio e suspensas 14 dias antes da colheita do milho seco.

3.6 CARACTERÍSTICAS AVALIADAS NO SOLO

Após 30 dias de incorporação das leguminosas e antes do plantio do milho, foi realizada coleta de solos em cada parcela na profundidade de 0-20 cm, com auxílio do trado, estas foram analisadas no Laboratório de Solo-Água-Planta da Universidade Federal Rural do Semiárido, no município de Mossoró – RN, para verificar a influência dos adubos verdes na fertilidade do solo e conseqüentemente disponibilidade de nutrientes para a cultura subsequente. Sendo assim determinadas análises químicas, como: N, P, K, Ca, Mg, Na, MO, pH, CE extrato, CTC, segundo a metodologia proposta pela EMBRAPA (1999).

A análise de nitrogênio foi efetuada segundo metodologia do semi-micro Kjeldahl, ou seja, digestão por ácido sulfúrico seguida por destilação e titulação. O fósforo, o potássio e o sódio disponíveis no solo foram extraídos pela solução extratora de Mehlich1. O fósforo extraído foi determinado espectrofotometricamente e o potássio e o sódio por fotometria de chama. Com a solução de KCl 1 mol L⁻¹, extraiu cálcio e magnésio, efetuando-se a leitura pelo método complexométrico com o emprego do EDTA (etileno-diamino-tetracético). A capacidade de troca catiônica (CTC) foi determinada pela soma das bases, Ca, Mg, K e Na e a acidez potencial.

Através do método instrumental, pelo uso de um eletrodo, foi determinado o pH e a condutividade elétrica. Para determinação do pH, foi realizada uma medição eletroquímica da concentração efetiva de íons H⁺ na solução do solo, na proporção de 1:2,5 de solo/água.

3.7 CARACTERÍSTICAS AVALIADAS NAS LEGUMINOSAS

Foi determinada a produção total de biomassa da parte aérea e da raiz e os teores de nutrientes (N, P e K) presentes na matéria seca da parte aérea. O fósforo e o potássio disponíveis na planta foram extraídos com a solução de ácido sulfúrico (H₂SO₄) e água oxigenada (H₂O₂). No extrato, o fósforo foi determinado por espectrofotometria e o potássio por fotometria de chama. A análise de nitrogênio foi efetuada segundo metodologia do semi-micro Kjeldahl, ou seja, digestão por ácido sulfúrico seguida por destilação e titulação, descrito por Tedesco et al. (1985).

3.8 CARACTERÍSTICAS AVALIADAS NA CULTURA DO MILHO

As avaliações foram feitas em Março de 2011, para determinação do estado nutricional da cultura foram utilizadas cinco folhas da área útil. A coleta baseava-se na retirada da folha inteira oposta e abaixo da primeira espiga (superior), excluindo a nervura central, por ocasião do aparecimento da inflorescência feminina (embonecamento), tendo em vista que a análise neste estágio fisiológico é realizada pelos seguintes motivos: a) o estágio de desenvolvimento

e a posição da folha são facilmente reconhecidos; b) a remoção de uma simples folha não afeta a produção; c) o efeito de diluição dos nutrientes nessa fase é mínimo, porque o potencial de crescimento e armazenamento dos órgãos vegetativos atingiu o ponto máximo e, d) o requerimento de nutrientes é alto nessa fase.

Após coletadas, as folhas foram levadas ao laboratório, secas em estufa a 65°C, trituradas e analisadas. Foram determinados os teores de nutrientes (N, P e K) presentes na matéria seca da parte aérea do milho. O fósforo e o potássio disponíveis na planta foram extraídos com a solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4) e água oxigenada (H_2O_2). No extrato, o fósforo foi determinado por espectrofotometria e o potássio por fotometria de chama. A análise de nitrogênio foi efetuada segundo metodologia do semi-micro Kjeldahl, ou seja, digestão por ácido sulfúrico seguida por destilação e titulação, descrito por Tedesco et al. (1985).

Para a mensuração das variáveis do milho, foram determinados: altura da planta, peso seco de 100 grãos e peso total de grãos produzidos por parcela. A altura da planta foi determinada com o auxílio de uma fita métrica, medindo-se a distância do nível do solo ao ponto de inserção da folha mais alta, e o peso dos grãos de milho, através de balança analítica.

3.9 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados foram submetidos à análise de variância, a comparação de médias foi feita pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade e para descrever o comportamento das espécies em função da densidade de semeadura foi realizado o ajustamento de equações de regressão. A mesma foi realizada com o auxílio do programa computacional Sistema para Análise de Variância - SISVAR (FERREIRA, 2000).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 AVALIAÇÃO DA BIOMASSA E TEOR DE NUTRIENTES NAS LEGUMINOSAS

Segundo a análise de variância, a produção de biomassa, em geral, apresentou efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$) entre as espécies de leguminosas e densidades de semeadura estudadas, porém não houve interação entre estas duas fontes de variação.

Para os dados referentes aos teores de nutrientes, especificamente P e K, apresentou influência dos mesmos entre as espécies de leguminosas, porém não houve efeito significativo entre as densidades de semeadura, e na interação espécie x densidade houve somente para os teores de P na folha das leguminosas, ao nível de 1% de probabilidade, segundo o teste de F (Tabela 4).

Tabela 4 – Resumo da análise de variância para massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR), nitrogênio total (N), fósforo (P), potássio (K) em função de densidades de semeadura de leguminosas. Mossoró-RN, UFERSA, 2011.

Fonte de variação	GL	Teste “F”						
		MFPA	MFR	MSPA	MSR	N	P	K
Espécie	3	22,062 ^{**}	2,369 ^{ns}	14,849 ^{**}	7,615 ^{**}	0,843 ^{ns}	31,223 ^{**}	54,287 ^{**}
Densidade	3	10,521 ^{**}	8,178 ^{**}	14,130 ^{**}	58,251 ^{**}	0,538 ^{ns}	0,330 ^{ns}	1,731 ^{ns}
Esp x Den	9	1,801 ^{ns}	0,298 ^{ns}	1,328 ^{ns}	1,186 ^{ns}	1,286 ^{ns}	2,776 ^{**}	0,621 ^{ns}
Bloco	3	2,415 ^{ns}	1,736 ^{ns}	1,878 ^{ns}	3,761 ^{ns}	4,593 ^{ns}	0,896 ^{ns}	2,722 ^{ns}
C.V. (%)	-	42,08	50,05	36,47	21,60	9,66	18,94	13,10

^{**} e ^{*} significância a 1% e 5% respectivamente; ^{ns}. não significativo; C.V. coeficiente de variação

As médias de produção de massa fresca e seca da parte aérea e da raiz e do acúmulo de teores de nitrogênio, fósforo e potássio, das espécies, são apresentadas na Tabela 5. Quanto ao acúmulo médio de massa fresca e seca da parte aérea, as espécies que mais produziram foram lab-lab com 116,24 e 21,54 t ha⁻¹ e feijão de porco com 91,79 e 20,84 t ha⁻¹, respectivamente.

Tabela 5 – Valores médios de massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR), nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) na parte aérea de leguminosas por ocasião do florescimento. Mossoró-RN, UFERSA, 2011.

Tratamento	MFPA ----- t ha ⁻¹ -----	MFR	MSPA -----	MSR	N ----- g kg ⁻¹ -----	P	K
Guandu	30,06 c	3,10 a	9,74 b	2,63 a	35,46 a	4,26 b	22,27 ab
Mucuna anã	62,89 b	4,21 a	13,41 b	1,90 b	33,59 a	3,18 c	12,61 c
Lab-lab	116,24 a	4,54 a	21,54 a	2,55 a	34,64 a	5,42 a	20,13 b
Feijão de porco	91,79 ab	5,00 a	20,84 a	2,66 a	34,50 a	3,21 c	22,72 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Resultados semelhantes foram encontrados por Nascimento e Silva (2004), em ambiente de transição caatinga-mata atlântica, em Alagoinha-PB, as espécies de mucuna-preta, mucuna-cinza e lab-lab apresentaram maior potencial para a produção de matéria seca.

Já o guandu apresentou os menores valores médios, contrariando aos observado em Viçosa-MG por Alvarenga et al. (1995), que avaliaram os adubos verdes caupi, crotalária juncea, crotalária paulina, guandu, feijão bravo do ceara, feijão de porco, lab-lab e mucuna preta, onde o guandu destacou-se como a espécie de maior potencial para recuperação do solo, com maior produção de biomassa seca.

Os valores inferiores de biomassa do guandu podem estar associados ao seu lento desenvolvimento, que possibilitou o surgimento de plantas daninhas, ocorrendo maior competição por água, luz e nutrientes. Estes resultados obtidos foram inferiores aos apresentados no trabalho de Suzuki e Alves (2006), porém equivalentes aos encontrados por Torres (2005), onde o feijão guandu na região de Uberaba houve um desempenho não muito satisfatório, ficando bem próximo ao da testemunha nas variáveis matéria verde e seca da parte aérea.

Para o acúmulo de N pela parte aérea, não houve diferenças estatísticas entre as leguminosas. Por si só, já são espécies que se destacam em acumular elevada quantidade de N, devido à capacidade que apresentam em fixar o N₂ atmosférico.

Já para o acúmulo de P, constatou-se que dentre as leguminosas, o lab-lab proporcionou valores mais elevados, demonstrando a capacidade dessa espécie em incorporar teores significativos desse nutriente. Isso torna tal espécie promissora quanto à sua reciclagem no solo da região semiárida que, em sua maioria, é predominado por baixos teores de P, o que remete a alternativas viáveis para recuperação de áreas degradadas, vez que a ciclagem desse nutriente é fundamental para a sucessão ecológica nessas áreas.

Outro fato que contribui para a eficiência da lab-lab em relação aos teores de P provavelmente seja as suas características morfológicas e de adaptação, pois, de acordo com Wutke *et al.* (2009), tal espécie pode apresentar aspectos favoráveis quanto à rusticidade, tolerância a seca, sistema radicular pivotante com crescimento vigoroso e desenvolvimento em maiores profundidades. Além de uma possível colonização radicular por fungos micorrízicos arbusculares nativos, o que ocorre naturalmente no caso da mucuna cinza e guandu (MIRANDA e MIRANDA, 2001).

O maior acúmulo de K foi observado em feijão de porco, em relação às demais espécies, demonstrando sua importância como adubo verde, principalmente para culturas subsequentes exigentes nesse nutriente. Esse comportamento se torna importante para a adequação do uso como adubo verde, pois apresenta grande quantidade de K e rápida liberação durante a decomposição. Miranda *et al.* (2010) observaram resultados distintos, encontrando maior acúmulo de K em lab-lab quando comparado a outras leguminosas, devido aos maiores teores desse nutriente no solo, em parcelas cultivadas pelo lab-lab, sendo assim, compatível com a maior acumulação de K na parte aérea.

Embora para cada espécie ocorra acumulação de grande quantidade de nutrientes em sua biomassa, isto não significa que estes nutrientes estarão prontamente disponíveis à cultura subsequente (CARVALHO, 2005), sendo, portanto, importante observar a dinâmica de liberação desses nutrientes, o que potencializa o uso dessas espécies como adubos verdes.

A produção de biomassa fresca e seca da parte aérea de leguminosas em função de densidades de semeadura, com as respectivas equações, é ilustradas na Figura 3.

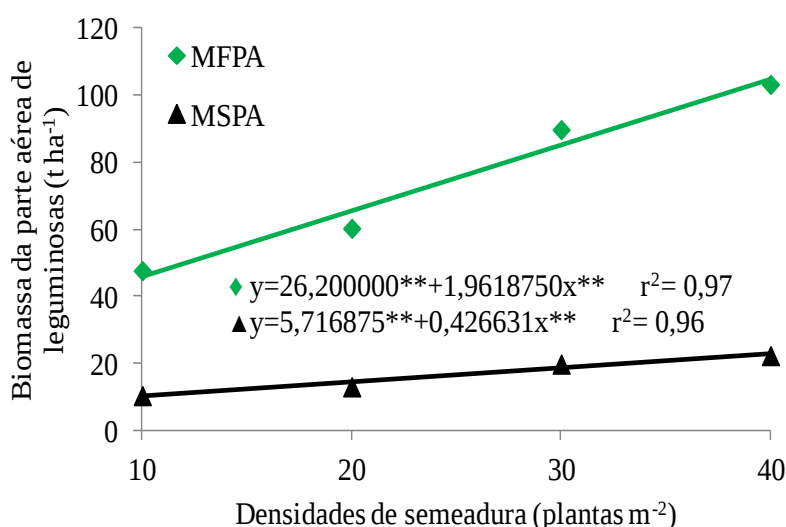


Figura 3 – Produção de massa fresca e seca da parte aérea de leguminosas em função de densidades de semeadura. Mossoró-RN, UFERSA, 2011.

Constatou-se que o aumento na produção de biomassa foi diretamente proporcional ao aumento na densidade de semeadura. Este comportamento linear pode estar atribuído ao fato de que as plantas não competiram entre si nas densidades avaliadas, e que essas espécies, nas condições submetidas neste trabalho, foram eficientes na interceptação e na utilização da radiação solar pelo dossel. Isso segue os mesmos resultados encontrados por Sousa (2011), avaliando o efeito de densidades de semeadura sobre o desenvolvimento da *Crotalaria juncea*, observou-se que a biomassa verde e seca da parte aérea apresentou aumento linear positivo com o aumento da densidade de semeadura.

Por outro lado, Lima et al. (2010) observaram reduções na acumulação de matéria seca, com a elevação da densidade de semeadura, de 8,4%; 35,3%; e 5,0%, respectivamente, para crotalária, mucuna e guandu. Estas diferenças podem ser atribuídas à arquitetura das espécies, uma vez que a mucuna apresenta hábito rasteiro e folhas maiores e mais planas do que a crotalária e o guandu, fatores que podem favorecer o sombreamento dentro do dossel, em densidade populacional mais alta, resultando no baixo acúmulo de matéria seca.

Assim como na produção de biomassa da parte aérea, as leguminosas responderam positivamente para massa fresca e seca da raiz ao aumento na densidade de semeadura (Figura 4). À medida que se eleva o número de plantas no m^{-2} , a tendência é de se produzir mais. Porém isso deve ser avaliado criteriosamente, e mais estudos devem ser realizados com densidades superiores as testadas, haja vista que se pode ainda obter uma produção maior de biomassa da raiz, e conseqüentemente uma maior eficiência na absorção de nutrientes por parte das raízes.

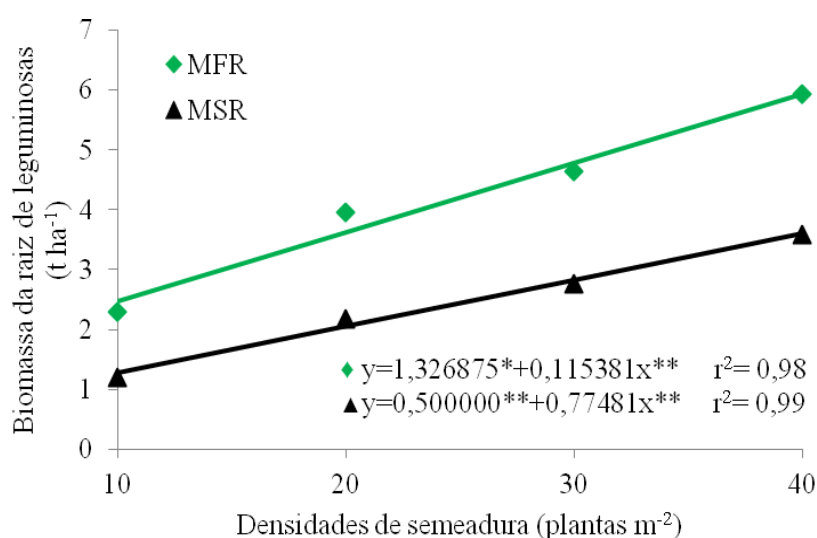


Figura 4 – Produção de biomassa fresca e seca da raiz de leguminosas em função de densidades de semeadura. Mossoró-RN, UFERSA, 2011.

Verificado efeito da interação espécie x densidade sobre os teores de P na parte aérea das leguminosas, foi realizada a análise de desdobramento de densidades dentro de cada espécie, na qual foi observado efeito significativo ao nível de 5% de probabilidade em lab-lab e mucuna anã.

Na Figura 5, observa-se que os teores de P, em função das densidades de semeadura, na lab-lab apresenta comportamento quadrático, ou seja, há um aumento nos teores até a densidade aproximada de 25 plantas por m², a partir daí há um decréscimo nesses teores. Já na mucuna anã, os teores decresceram linearmente à medida que aumentou o número de plantas na parcela.

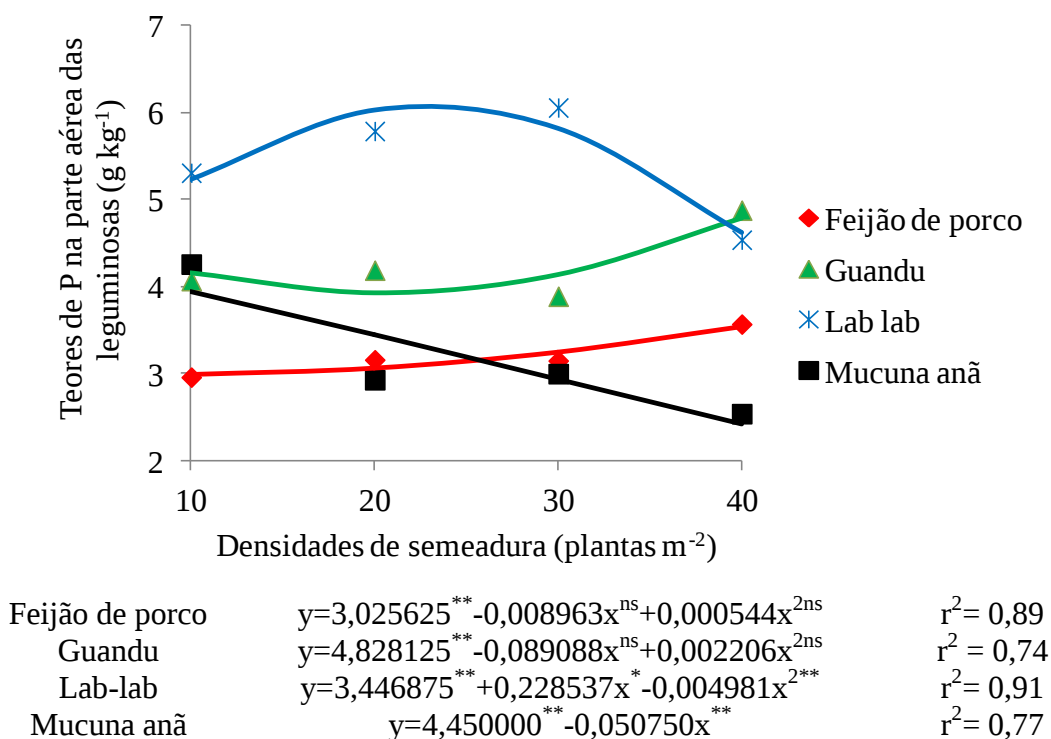


Figura 5 – Equações de regressão para teores de P na parte aérea de leguminosas em função de densidades de semeadura. Mossoró-RN, UFERSA, 2011.

Esses resultados demonstram a importância de se obter uma densidade populacional de plantas adequada, para que se produza mais massa e se acumule mais nutrientes, possibilitando assim um maior efeito como adubo verde.

4.2 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO

Na Tabela 6 encontram-se os resultados obtidos relativos às características químicas do solo, quando foram influenciadas por diversas leguminosas utilizadas como adubo verde, semeadas em distintas densidades.

Tabela 6 – Resumo da análise de variância para potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), matéria orgânica (MO), nitrogênio total (N), fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e capacidade de troca catiônica (CTC) em função de densidades de semeadura de leguminosas. Mossoró-RN, UFERSA, 2011.

Fonte de variação	G.L.	Teste “F”									
		pH	CE	MO	N	P	K	Na	Ca	Mg	CTC
Espécie	3	4,16**	44,783**	3,001*	24,253**	2,488 ^{ns}	26,962**	136,840**	10,083**	2,615 ^{ns}	18,874**
Densidade	3	0,420 ^{ns}	4,317**	0,672 ^{ns}	3,473*	1,443 ^{ns}	1,315 ^{ns}	4,189**	1,421 ^{ns}	1,474 ^{ns}	0,796 ^{ns}
Esp x Den	9	1,374 ^{ns}	1,957 ^{ns}	1,238 ^{ns}	1,211 ^{ns}	0,481 ^{ns}	2,019*	4,688**	0,877 ^{ns}	0,657 ^{ns}	0,589 ^{ns}
Bloco	3	5,889**	2,028 ^{ns}	12,121**	0,977 ^{ns}	3,698 ^{ns}	2,049*	9,297**	6,097**	0,516 ^{ns}	2,103 ^{ns}
C.V. (%)	-	3,52	21,08	18,67	46,2	40,85	47,94	27,6	15,5	31,06	16,6

** e * significância a 1% e 5% respectivamente; ^{ns} não significativo; C.V. coeficiente de variação

Realizada a análise de variância, verificou-se efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade para as características, pH, CE, N, K, Na, Ca e CTC, quando se avaliou as diferentes espécies. Porém para as densidades de semeadura testadas, houve efeito significativo somente para a CE e N. Quando se avaliou a interação entre estas duas fontes, os teores de K e Na no solo apresentaram efeito significativo ao nível de 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Na Tabela 7 estão apresentadas as médias das propriedades químicas do solo, após a incorporação das leguminosas por um mês. Observa-se que entre as leguminosas testadas, a lab-lab e o feijão de porco se destacaram por apresentar os maiores valores médios para as características pH, CE, MO, N, P e Mg. A espécie lab-lab promoveu ainda os maiores valores de K, Na e CTC, o que a torna com maior potencial para adubação verde.

Tabela 7 – Valores médios de potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), matéria orgânica (MO), nitrogênio total (N), fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e capacidade de troca catiônica (CTC) em função da incorporação de leguminosas no solo. Mossoró-RN, UFERSA, 2011.

Tratamento	pH água	CE dS/m	MO %	N	P	K mg/dm ³	Na	Ca	Mg cmol _c /dm ³	CTC
Guandu	7,4b	0,2b	0,78a	0,7c	12,9a	108,1c	33,5b	1,7b	1,8a	4,2c
Mucuna anã	7,4b	0,1b	0,64b	2,8b	12,7a	58,5c	18,4c	1,7b	2,4a	5,8ab
Lab-lab	7,5ab	0,3a	0,71ab	4,4a	14,4a	287,0a	91,1a	1,8b	2,0a	6,6a
F. porco	7,7a	0,3a	0,71ab	4,8a	17,7a	188,2b	23,7bc	2,2a	2,3a	5,7b

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Os teores de Ca foram maiores no solo sob efeito de feijão de porco. Provavelmente, este resultado se deve a maior capacidade dessa leguminosa retornar Ca ao solo através de sua biomassa, em relação às outras espécies.

As diferenças no tocante aos teores de N aparecem sob o solo que incorporaram biomassa do lab-lab e do feijão de porco, isso demonstra superioridade destas espécies em relação às demais quanto a capacidade de fixar o N atmosférico, além de apresentarem sistemas radiculares mais eficientes no aproveitamento dos nutrientes, sendo possível com isso aumentar a disponibilidade desse nutriente no solo por meio do processo de mineralização do material incorporado. Confirmando as observações concluídas por Ceretta et al. (1994), que citam as leguminosas de modo geral como plantas capazes de fixar N atmosférico em simbiose com *Rhizobium* e que apresentam baixa relação C/N, o que favorece a rápida decomposição e liberação desse nutriente para a cultura em sucessão.

Para os teores de P, o solo se comportou de maneira semelhante sob o efeito de todas as espécies.

Quanto ao K, houve diferença no solo sob as várias espécies, tendo sido os maiores teores encontrados no solo sob lab-lab.

Esses resultados corroboram aos encontrados por Silva et al. (2002), que avaliando a produção de matérias verde e seca e quantidade de nutrientes incorporados ao solo pelo cultivo intercalar de diversas espécies de leguminosas, concluíram que o feijão de porco e a lab-lab foram as espécies que apresentaram melhores teores médios de macronutrientes na parte aérea, seguidos pela mucuna-preta que se destacou nos teores de N e P, a *C. spectabilis* para K e Ca e a mucuna-anã para N e S.

Na Figura 6 tem-se a influência da densidade de plantas na condutividade elétrica do solo, após a incorporação das leguminosas. Aumentos na CE foram verificados até a densidade aproximada de 30 plantas no m⁻² a partir de então ocorre decréscimo. Esse fato pode ter ocorrido possivelmente por influência de algum nutriente presente na massa seca ou até mesmo pelo efeito da própria matéria orgânica.

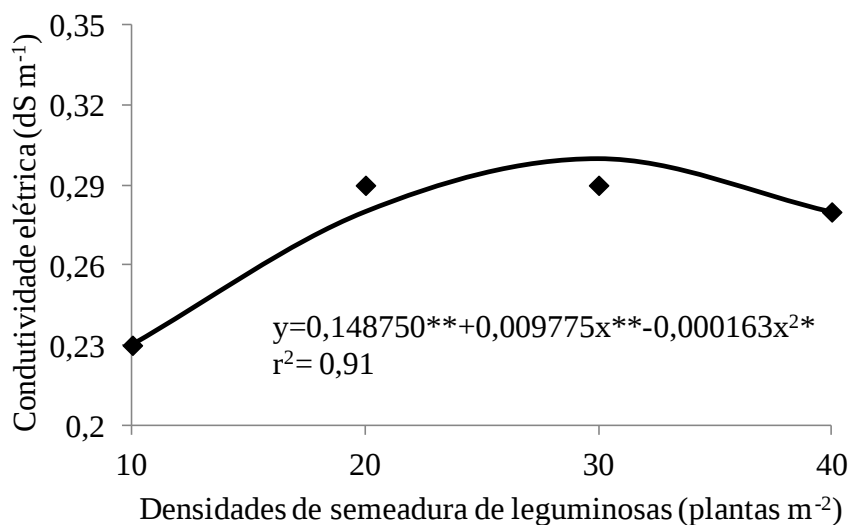


Figura 6 – Conduktividade elétrica do solo em função de densidades de semeadura de leguminosas. Mossoró-RN, UFERSA, 2011.

A contribuição das leguminosas nos teores de N no solo (Figura 7) mostra efeito quadrático em relação às densidades de semeadura em que as leguminosas foram submetidas, promovendo um incremento a medida que se eleva o número de leguminosas na parcela, ocorrendo um pequeno decréscimo, a partir das parcelas que se encontravam com 30 plantas, aproximadamente. Este fato poderá estar relacionado com o tempo de decomposição do material incorporado, na qual estas parcelas foram submetidas, com a instabilidade que este nutriente apresenta no solo, podendo ser facilmente transformado ou perdido e além de influências de outros fatores não controlados no experimento.

Segundo Aita et al. (2001) o aproveitamento do nitrogênio orgânico do resíduo vegetal de leguminosas pela planta em sucessão, depende de diversos fatores, como por exemplo, da quantidade de N acumulada pelas leguminosas, da velocidade com que o nutriente é liberado dos resíduos culturais em sincronia com a demanda da cultura do milho, da disponibilidade de N do solo, do potencial de rendimento do milho e do nível tecnológico empregado na cultura.

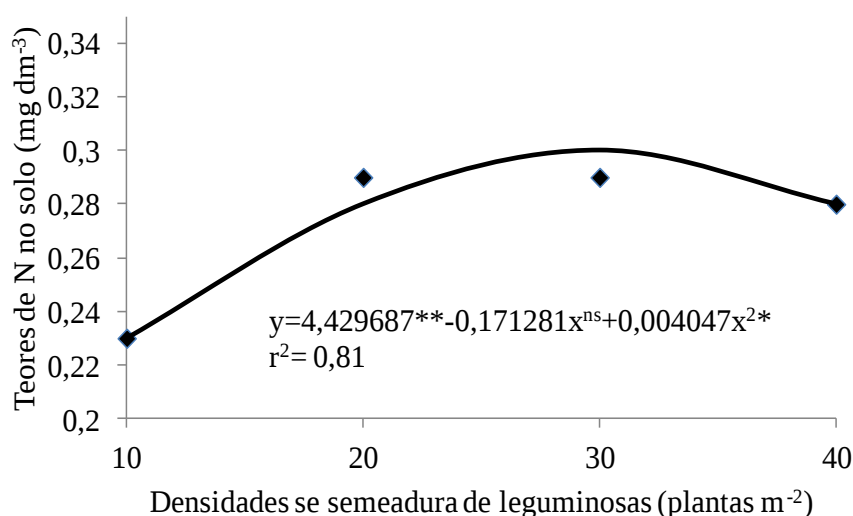
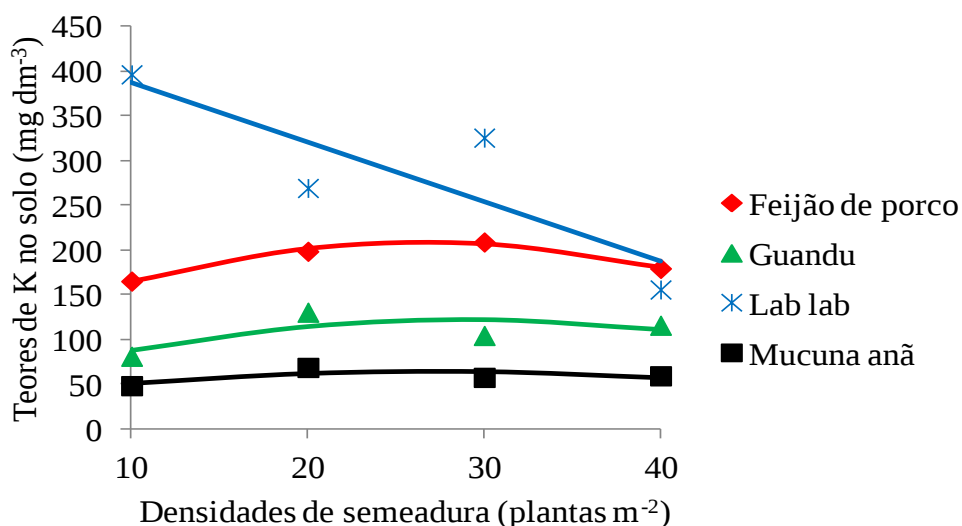


Figura 7 – Teores de nitrogênio no solo em função de densidades de semeadura de leguminosas. Mossoró-RN, UFERSA, 2011.

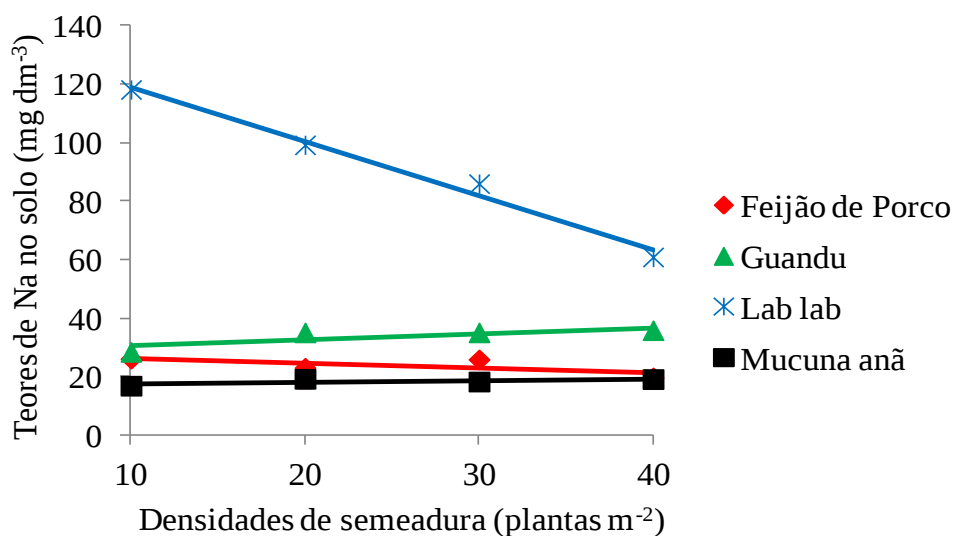
A interação entre os fatores espécie e densidade foi significativa ($p < 0,05$), e no desdobramento densidade dentro de cada espécie, os teores de K e Na no solo apresentaram efeito significativo dentro da espécie lab-lab (Figuras 8 e 9).

Os teores de K e Na no solo apresentaram efeito linear negativo, ou seja, à medida que se aumentava o número de plantas de lab-lab na área da parcela, diminuía estes teores no solo.



Feijão de porco	$y = 96,295000^{ns} + 8,390775x^{ns} - 0,157187x^{2ns}$	$r^2 = 0,99$
Guandu	$y = 41,228750^{ns} + 5,514725x^{ns} - 0,094663x^{2ns}$	$r^2 = 0,51$
Lab-lab	$y = 453,486250^{**} - 6,659275x^{**}$	$r^2 = 0,71$
Mucuna anã	$y = 29,750000^{ns} + 2,549650x^{ns} - 0,046600x^{2ns}$	$r^2 = 0,53$

Figura 8 – Equações de regressão para teores de K no solo em função de densidades de semeadura de espécies de leguminosas. Mossoró-RN, UFERSA, 2011.



Feijão de porco	$y=27,750000^{**}-0,163325x^{ns}$	$r^2=0,50$
Guandu	$y=28,545000^{**}+0,192700x^{ns}$	$r^2=0,57$
Lab-lab	$y=137,347500^{**}-1,8511250x^{**}$	$r^2=0,98$
Mucuna anã	$y=16,902500^{*}+0,058950x^{ns}$	$r^2=0,48$

Figura 9 – Equações de regressão para teores de Na no solo em função de densidades de semeadura de espécies de leguminosas. Mossoró-RN, UFERSA, 2011.

4.3 AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E ESTADO NUTRICIONAL DO MILHO

Os resultados da avaliação das características agronômicas e teores de nutrientes acumulados no milho, em função de densidades de semeadura de leguminosas incorporadas ao solo estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Resumo da análise de variância para altura da planta (Alt), umidade (U), peso úmido de 100 grãos (PU), Peso seco de 100 grãos (PS), produção total de grãos (PT), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) em função de densidades de semeadura de leguminosas. Mossoró-RN, UFERSA, 2011.

Fonte de variação	GL	Teste “F”						
		Alt	PU	PS	PT	N	P	K
Espécie	3	6,824 ^{**}	0,341 ^{ns}	0,296 ^{ns}	3,889 [*]	1,868 ^{ns}	0,406 ^{ns}	0,579 ^{ns}
Densidade	3	0,324 ^{ns}	0,614 ^{ns}	1,012 ^{ns}	1,040 ^{ns}	1,621 ^{ns}	0,309 ^{ns}	0,952 ^{ns}
Esp x Den	9	0,887 ^{ns}	3,067 ^{**}	2,788 ^{**}	0,711 ^{ns}	1,562 ^{ns}	2,559 ^{**}	0,815 ^{ns}
Bloco	3	9,864 ^{**}	3,804 ^{ns}	3,939 ^{ns}	2,134 ^{ns}	3,593 ^{ns}	4,304 ^{**}	7,298 ^{ns}
C.V. (%)	-	15,2	6,0	5,7	42,6	25,0	14,3	14,4

^{**} e ^{*} significância a 1% e 5% respectivamente; ^{ns}. não significativo; C.V. coeficiente de variação; correção para 13% de umidade

Na análise de variância, verifica-se efeito significativo para o fator espécie ao nível de 1% sobre a altura de plantas de milho e de 5% de probabilidade para a produção total de grãos de milho. Já com relação às densidades, quando avaliadas de forma isolada, não verificou-se efeito significativo sobre nenhuma característica estudada. Entretanto, foram observados efeitos significativos na interação espécie x densidade ao nível de 1% de significância para as características peso úmido e seco de 100 grãos e teores de P na parte aérea do milho.

Na Tabela 9 são apresentados os dados médios das características agronômicas e teores de nutrientes na parte aérea do milho em função das espécies de leguminosas incorporadas ao solo quando estavam em seu pleno florescimento.

Tabela 9 – Valores médios de altura de planta (Alt), umidade (U), peso úmido de 100 grãos (PU), peso seco de 100 grãos (PS), produção total de grãos (PT), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) na parte aérea do milho, em função da incorporação de leguminosas no solo. Mossoró-RN, UFERSA, 2011.

Tratamento	Alt (m)	PU ----- (g)	PS -----	PT (t ha ⁻¹)	N -----	P (mg dm ⁻³)	K -----
Guandu	0,80a	36,1a	30,0a	6,96a	12,2a	4,82a	17,9a
Mucuna anã	0,63b	36,7a	30,6a	4,17b	10,8a	4,59a	17,2a
Lab-lab	0,75a	36,3a	30,1a	6,67a	12,8a	4,61a	18,2a
Feijão de porco	0,77a	36,0a	30,2a	6,26ab	10,8a	4,66a	17,3a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Os valores médios para altura e produção total de grãos de plantas de milho em função das espécies de leguminosas demonstram que a mucuna anã se destacou por apresentar os menores valores diferindo estatisticamente das espécies lab-lab, feijão de porco e guandu que não diferiram entre si. Assim, pode-se inferir que existe uma relação entre altura de planta e produção total de grãos, o que pode estar relacionado com a melhor qualidade do solo proporcionado por essas leguminosas que, conseqüentemente, promoveram o maior desenvolvimento da parte aérea e a taxa fotossintética aumentando assim a produção de grãos. Entretanto para os teores de nutrientes, presentes nas folhas diagnósticas do milho, bem como as demais características, não variaram em função das leguminosas incorporadas ao solo.

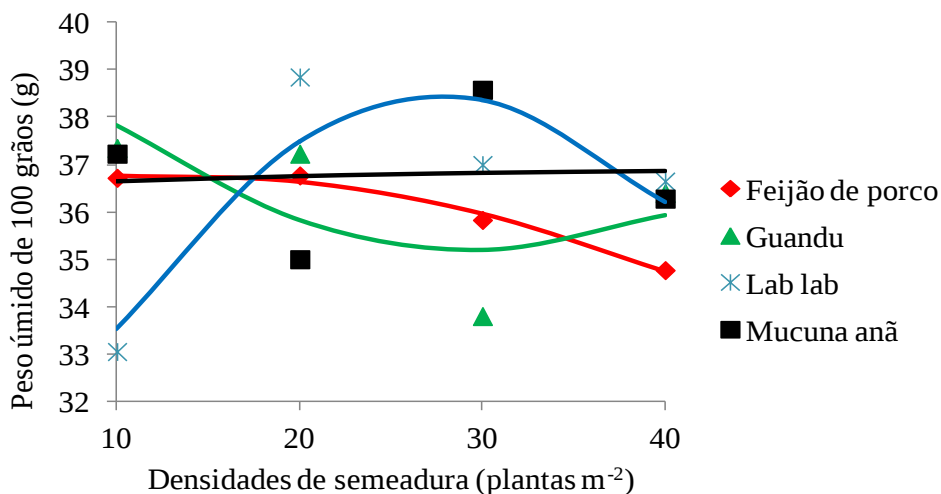
Os dados assemelham-se aos obtidos por Fontanét et al. (2007), os quais encontraram resultados significativos em relação à altura de plantas, em decorrência do uso de leguminosas antecedendo a cultura do milho. Isso pode ter ocorrido devido à maior exigência do milho por N nos primeiros estádios de seu desenvolvimento; dessa forma, a rápida decomposição das leguminosas (baixa relação C/N) pode ter influenciado nesta disponibilidade.

De um modo geral, os resultados encontrados na produção total de grãos foram superiores, mesmo somente sobre o efeito da adubação com leguminosas, em relação aos encontrados na média brasileira, que é de 4 t ha^{-1} , como nos mostram as pesquisas realizadas pelo IBGE, (2012). Porém o milho, no Brasil, tem um alto potencial produtivo, alcançando $10 \text{ t de grãos ha}^{-1}$, em condições experimentais e por agricultores que adotam tecnologias adequadas (CARVALHO et al., 2004).

Fica evidente, pois, o benefício de leguminosas utilizadas como adubos verdes na cultura do milho, principalmente em solos com baixos teores de matéria orgânica, como visto no presente trabalho. De acordo com Weber & Mielniczuk (2009), na ausência da adubação nitrogenada mineral, a utilização de leguminosas aumenta a produtividade do milho.

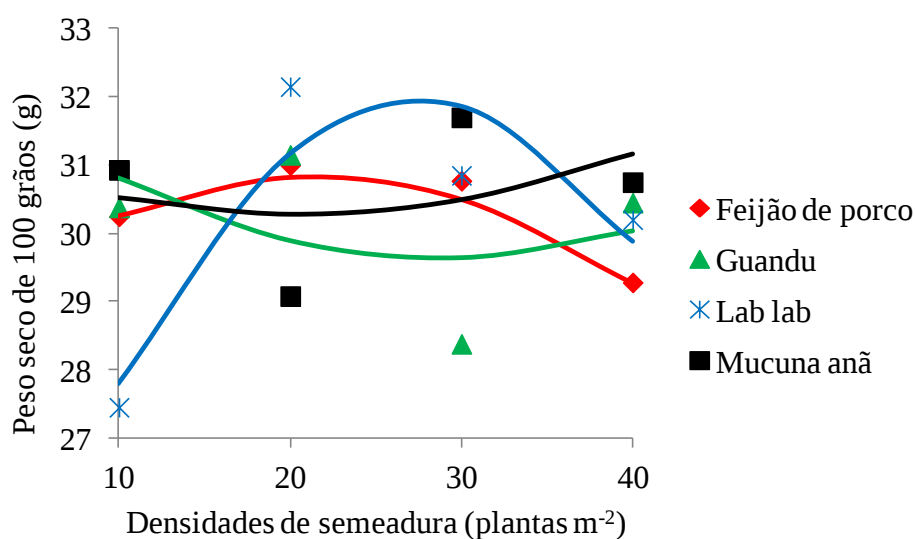
Na análise do desdobramento da interação de densidades dentro de espécie, para o peso úmido e seco de 100 grãos, verifica-se que as densidades de semeadura apresentam influencia significativa ao nível de 1% apenas na lab-lab.

Através das Figuras 10 e 11, verifica-se que há um aumento no peso úmido e seco de 100 grãos de milho em função das densidades de semeadura de lab-lab até aproximadamente 30 plantas m^{-2} a partir de então ocorre diminuição no peso dos grãos.



Feijão de porco	$y=36,350000^{***}+0,069500x^{ns}-0,002750x^{2ns}$	$r^2=0,99$
Guandu	$y=41,168750^{**}-0,403375x^{ns}+0,06813x^{2ns}$	$r^2=0,47$
Lab-lab	$y=26,462500^{**}+0,858250x^{**}-0,015375x^{2**}$	$r^2=0,76$
Mucuna anã	$y=36,493750^{**}+0,016625x^{ns}-0,000188x^{2ns}$	$r^2=0,18$

Figura 10 – Equações de regressão para peso úmido de 100 grãos de milho em função de densidades de semeadura de espécies de leguminosas. Mossoró-RN, UFERSA, 2011.

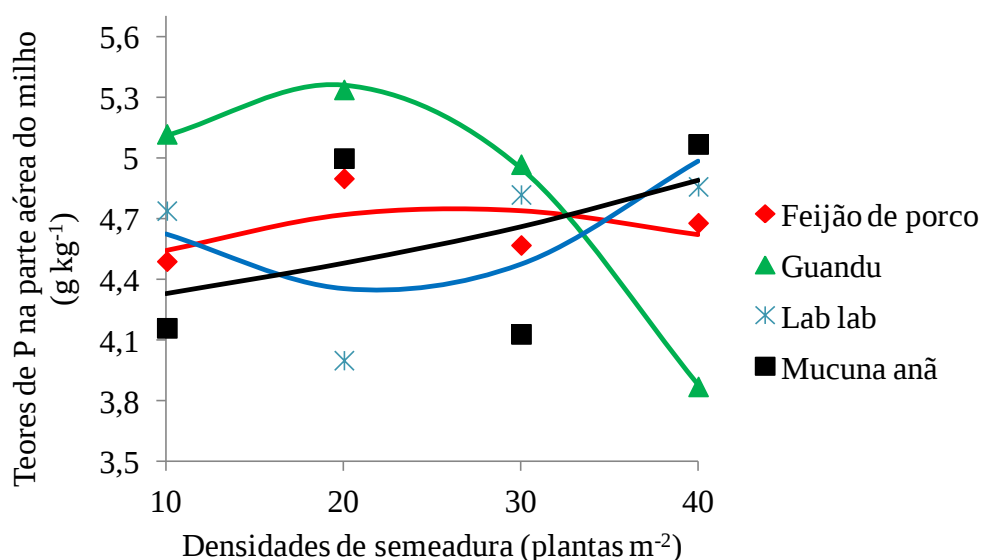


Feijão de porco	$y=28,806250^{**}+0,189125x^{ns}-0,0044370x^{2ns}$	$r^2=1,00$
Guandu	$y=32,350000^{**}-0,188000x^{ns}+0,003250x^{2ns}$	$r^2=0,18$
Lab-lab	$y=21,737500^{**}+0,738250x^{**}-0,013375x^{2**}$	$r^2=0,81$
Mucuna anã	$y=31,212500^{**}-0,091500x^{ns}+0,002250x^{2ns}$	$r^2=0,18$

Figura 11 – Equações de regressão para peso seco de 100 grãos de milho em função de densidades de semeadura de espécies de leguminosas. Mossoró-RN, UFERSA, 2011.

Os teores de P na parte aérea da planta do milho quando submetidos às parcelas sob densidades de semeadura de guandu, estão apresentados na Figura 12. Observa-se que há um pequeno aumento no teor de P na folha do milho quando submetido à parcela constituída de espécie guandu na densidade de 20 plantas por m², a partir daí apresentou uma queda brusca nos seus teores. Demonstrando assim que a maiores densidades de semeadura do guandu a folha do milho acumulou uma menor concentração nos teores de P.

Assim sendo, o conhecimento destas interações permite a adoção de um conjunto de práticas de manejo mais adequado, que contribua para que a comunidade de plantas tenha o melhor aproveitamento possível dos recursos ambientais disponíveis, apresente melhor desempenho como adubos verdes, e conseqüentemente influencie favoravelmente a cultura subsequente.



Feijão de porco	$y=4,216875^{**}+0,040388x^{ns}-0,000756x^{2ns}$	$r^2=0,27$
Guandu	$y=4,212500^{**}+0,123075x^{ns}-0,003287x^{2ns}$	$r^2=1,00$
Lab-lab	$y=5,296250^{**}-0,086900x^{ns}+0,00197575x^{2ns}$	$r^2=0,45$
Mucuna anã	$y=4,237500^{**}+0,007400x^{ns}+0,000225x^{2ns}$	$r^2=0,22$

Figura 12 – Equações de regressão para teores de P na parte aérea do milho em função de densidades de semeadura de espécies de leguminosas. Mossoró-RN, UFERSA, 2011.

Diante das diferenças na quantidade de biomassa e nutrientes produzidos e adicionados ao solo por intermédio das diversas espécies de adubos verdes, é possível inferir que essas espécies podem ser utilizadas em sucessão a cultura comercial, contribuindo para a melhoria e ou manutenção dos atributos do solo, aumento no rendimento e da biodiversidade de espécies.

Em análise econômica do uso de leguminosas de coberturas intercalares à cultura do milho, na ausência e presença de adubação nitrogenada, Spagnollo et al. (2001) relataram que as leguminosas cultivadas sem o uso do adubo nitrogenado proporcionaram um aumento na receita líquida mais expressiva na cultura do milho, evidenciando, segundo esses autores, será adubação nitrogenada o principal fator envolvido na economia de fertilizantes, com destaques para a mucuna cinza, o feijão de porco e guandu anão.

Considerando o alto custo do adubo mineral e a baixa produtividade do milho na região, ocasionada, principalmente, devido o sistema de manejo empregado, os resultados deste experimento foram considerados satisfatórios. Entretanto, fazem necessário maiores estudos no sentido de efetivar por meio de uma análise econômica a comprovação destes resultados.

Estudando o impacto econômico de sistemas de produção orgânico Didonet (2006), verificou que a menor renda líquida proporcionada por espigas verdes de milho foi obtida quando se utilizou o sorgo forrageiro como adubo verde, enquanto as maiores foram obtidas com as leguminosas, guandu, crotalária e mucuna.

5 CONCLUSÕES

- 1) O incremento na densidade de semeadura aumentou linearmente a produção de biomassa nas leguminosas;
- 2) As densidades de semeadura de leguminosas, utilizadas como adubo verde, não influenciaram as características químicas do solo e a produtividade do milho;
- 3) As espécies lab-lab e feijão de porco apresentaram os melhores resultados no acúmulo de biomassa e teores de nutrientes na parte aérea;
- 4) As leguminosas promoveram melhoria nas características químicas do solo, aumentando os teores de N, K, Ca, Mg e o valor da CTC;
- 5) A produção total de grãos e altura de planta do milho foram influenciadas positivamente pelas espécies de leguminosas.

6. REFERÊNCIAS

- AITA, C.; BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; GONÇALVES, C. N.; ROS, C. O. da. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.25, p.157-165, 2001.
- ALVARENGA, R. C.; CABEZAS, W. A. L.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, v.22, p.25-36, 2001.
- ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M. da; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A. J. Características de alguns adubos verde de interesse para a conservação e recuperação de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, n.2, p. 175-185, 1995.
- ALVES, S. J.; MEDEIROS, G. B. Leguminosas em renovação de pastagens. In: FAVORETTO, V.; RODRIGUES, L. R. A.; RODRIGUES, T. J. D. (Eds.). Simpósio sobre ecossistema de pastagens. 3. ed. Jaboticabal: FINEP, 1997. p. 251-272.
- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendações de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.241-248, 2002.
- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S. B.; BAYER, C. Culturas de cobertura, acúmulo de nitrogênio total no solo e produtividade do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, V. 23, n. 3, p. 679-686, 1999.
- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; SANGOL, L. Arranjo de plantas em milho: análise do estadoda- arte. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.6, p.1075-1084, 2001.
- ARIHARA, J.; AE, N.; OKADA, K. Root development of pigeonpea and chickpea and it significance in different systems. IN: JOHANSEN, C.; LEE, K.; SAHRAWAT, K.I. (Eds). **Phosphorus nutrition of grain legumes in the semi-arid tropics**. Patancheru: ICRISAT, 1991. p. 183-194.
- BARRETO, A. C.; ANJOS, J. L.; FERNANDES, M. F.; SOBRAL, L. F. Uso de leguminosas. In: MELO, M. B.; SILVA, L. M. S. **Aspectos técnicos dos cítrus em Sergipe**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros. 2006, 82p.
- BRAGA, N. R.; WUTKE, E. B.; AMBROSANO, E. J.; BULISANI, E. A. Mucuna anã (*Mucuna deeringiana* (Bort.) Merr.). Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 2006, 1p. (Boletim 200).
- CALEGARI, A.; MONDARDDO, A.; BULISSANI, E. A.; WILDNER, L. do P.; COSTA, M. B. B. da; ALCÂNTARA, P. B.; MYASAKA, S.; AMADO, J. T. **Aspectos gerais da adubação verde**. In: COSTA, M. B. B. da. Adubação verde no sul do Brasil. 2 ed. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1993. 346p.

CARMO FILHO, F.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; AMORIM, A. P. **Dados meteorológicos de Mossoró (janeiro de 1898 a dezembro de 1986)**. Mossoró: ESAM/FGD, 1987. v. 341, 325p. (Coleção Mossoroense).

CARVALHO, A. M. de. **Uso de plantas condicionadoras com incorporação e sem incorporação no solo: composição química e decomposição dos resíduos vegetais, disponibilidade de fósforo e emissão de gases**. Brasília/DF: Universidade de Brasília, 2005. 199p. Tese Doutorado

CARVALHO, M. A. C.; SORATTO, R. P.; ATHAYDE, M. L. F.; ARF, O.; SÁ, M. E. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, p. 47-53, 2004.

CASTRO, C. M. de.; ALVES, B. J. R.; ALMEIDA, D. L. de.; 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, ago. 2004.

CERETTA, C. A.; AITA, C.; BRAIDA, J. A.; PAVINATO, A.; SALET, R. L. Fornecimento de nitrogênio por leguminosas para o milho em sucessão nos sistema de cultivo mínimo e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p.215-220, 1994.

CHAVES, J. C. D.; CALEGARI, A. Adubação verde e rotação de culturas. Informe Agropecuário, v.22, p.53-60, 2001.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. de. **Seja o doutor do seu milho: nutrição e adubação**. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1995. 9p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Brasília, DF). **Comparativo da área, produção e produtividade: safras 2001/2002 e 2002/2003**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/safras.asp>>. Acesso em: 15 set. 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABSTECIMENTO (CONAB). **Safra de Safra**. Brasília, Ministério da Agricultura e Abastecimento, 2007.

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, v. 72, p. 101-120, 2005.

CRUSCIOL, C. A. C.; COTTICA, R. L.; LIMA, E. V.; ANDREOTTI, E. M.; MARCON, E. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 2, p. 161-168, fev. 2005.

DE-POLLI, H.; CHADA, S. S. Adubação verde incorporada ou em cobertura na produção de milho em solo de baixo potencial de produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, p.287-293, 1989.

DIDONET, A. D. **Sistema de produção orgânica de grãos para a pequena propriedade familiar: segurança alimentar e agregação de valor**. Projeto CNPq 503107/2003-04. Relatório Final de Atividades. Santo Antônio de Goiás. 140p. 2006.

DUARTE JUNIOR, J. B. & COELHO, F. C. 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, 2008.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. Brasília, Embrapa produção De Informação, Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 1999, 412p.

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V. Influência da calagem no rendimento de matéria seca de plantas de cobertura e adubação verde, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.897-904, 2001.

ESPÍNDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. **Uso de leguminosas herbáceas para adubação verde**. In.: AQUINO, A.; ASSIS, R. L. Agroecologia: princípios e técnica para agricultura orgânica sustentável. Brasília, EMBRAPA – Informação tecnológica. p. 435-451, 2005.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. 2.ed. Guaíba: Agropecuária, 2004. v.1. 360p.

FARIA, C. M. B.; COSTA, N. D.; FARIA, A. F. Atributos químicos de um argissolo e rendimento de melão mediante o uso de adubos verdes, e calagem e adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:299 307, 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, set. 1999.

FERREIRA, D. F. **Análise estatística por meio do SISVAR (Sistema para Análise de Variância) para Windows versão 4.0**. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. Anais... São Carlos: UFSCar. p. 255-258, 2000.

FONTANÉTTI, A.; GALVÃO, J. C. C.; SANTOS, I. C. dos.; SANTOS, M. M. dos.; CHIOVATO, M. G.; ADRIANO, R. C.; OLIVEIRA, L. R. de. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o milho safrinha em sistema de plantio direto orgânico. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Viçosa MG, v. 2, p. 1174-1177, 2007.

FONTES, H. R.; FERREIRA, J. M. S.; SIQUEIRA, L. A. Sistema de produção para a cultura do coqueiro. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2002. 63p. (Sistemas de Produção).

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

FRANCO, A. A., RESENDE, A. S. de, CAMPELLO, E. F. C. **Importância das leguminosas arbóreas na recuperação de áreas degradadas e na sustentabilidade de sistemas agroflorestais**. In: Sistemas Agroflorestais e Desenvolvimento Sustentável, Mato Grosso do Sul, p. 1-24, 2003.

FREITAS, G. B.; PERIN, A.; SANTOS, R. H. S.; BARELLA, T. P.; DINZ, E. R. **Trabalhador na olericultura básica: adubação verde**. Brasília: SENAR, 2003, 91p. (Coleção SENAR 71).

GILLER, K. E. **Nitrogen fixation in tropical cropping systems**. 2º ed. Zimbabwe: CABI Publishing, 2001, 423p.

GOMES, J.K.O.; SILVA, P.S.L.; SILVA, K.M.B.; RODRIGUES FILHO, F.F.; SANTOS, V.G. Effects of weed control through cowpea intercropping on maize morphology and yield. **Planta Daninha**, v.25, n.3, p.433-441, 2007.

HEINRICHS, R., VITTI, G. C., MOREIRA, A., FIGUEIREDO, P. A., FANCELLI, A. L., CORAZZA, E. J. Características químicas de solo e rendimento de fitomassa de adubos verdes e de grãos de milho, decorrente do cultivo consorciado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 29: 71-79, 2005.

HENRICHES, R.; AITA, C.; AMADO, T. J. C. & FANCELLI, A. L. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:331-340, 2001.

HOLLIDAY, R. Plant population and crop yield. **Nature**, v. 186, p. 22-24, 1960.
INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR. *A cultura do milho no Paraná*. Londrina: IAPAR, 1991. 270 p. (Circular técnica, n. 68).

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR. *A cultura do milho no Paraná*. Londrina: IAPAR, 1991. 270 p. (Circular técnica, n. 68).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. 2000. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 5 de janeiro. 2012.

KRETZSCHMAR, R. M.; HAFNER, H.; BATIONO, A.; MARSCHNER, H. Long and short-term effects of crop residues on aluminum toxicity, phosphorus availability and growth of pearl millet in an acid sandy soil. **Plant Soil**. 136: 215-223, 1991.

KUO, S.; SAINJU, U.M.; JELLUM, E.J. Winter cover crop effect on soil organic carbon and carbohydrate in soil. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, p.145-152, 1997.

LIMA, D. J.; SAKAI, R. K.; ALDRIGHI, M.; SAKAI, M. Arranjo espacial, densidade e época de semeadura no acúmulo de matéria seca e nutrientes de três adubos verdes. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 4, p. 531-540, 2010.

LIMA, E. do V. **Alterações dos atributos químicos do solo e resposta da soja à cobertura vegetal e à calagem superficial na implantação do sistema de semeadura direta**. 2001. 125p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

MACRAE, R. J.; MEHUYS, G. R. Effects of green manuring in rotation with corn on the physical properties of two Quebec soils. **Biological Agriculture and Horticulture**, Oxon, UK, v. 4, n. 4, p. 257-270, 1987.

MIRANDA, J. C. C. & MIRANDA, L. N. **Manejo de micorriza arbuscular por meio da rotação de culturas nos sistemas agrícolas do cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2001. 3p. (Comunicado Técnico, 42).

MIRANDA, N. O.; GÓES, G. B.; ANDRADE NETO, R. C.; LIMA, A. S. Sorgo forrageiro em sucessão a adubos verdes na região de Mossoró, RN. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.5, n.2, p.202-206, 2010.

MIYASAKA, S.; CAMARGO, O. A.; CAVALERI, P. A. **Adubação orgânica, adubação verde e rotação de culturas no Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: Fundação Cargill, 1984. 138 p.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA. 2. ed. 2006, 729p.

NASCIMENTO, J. T.; SILVA, I. F. Avaliação quantitativa e qualitativa da fitomassa de leguminosas para uso como cobertura de solo. **Ciência Rural**, v.34, n.3, p.947-949, 2004.

OLIVEIRA, F. L.; GOSCH, C. I. L.; GOSCH, M. S.; MASSAD, M. D. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e decomposição de leguminosas utilizadas para adubação verde. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.5, n.4, p.503-508, out-dez, 2010.

OLIVEIRA, T. K. de.; CARVALHO, G. J. de.; MORAES, R. N. S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1079-1087, ago. 2002.

PEREIRA, A.J. **Produção de biomassa aérea e de sementes de *Crotalaria juncea* a partir de diferentes arranjos populacionais e épocas do ano**. 2004. 68 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

PERFECT, E.; KAY, B. D.; LOON, W. K. P. VAN; SHEARD, R. W.; POJASOK, T. Factors influencing soil structural stability within a growing season. **Soil Science Society American Journal**, v.54, p.173-179, 1990.

PERIN, A.; BERNARDO, J. T.; SANTOS, R. H. S.; FREITAS, J. B. Desempenho agrônomo de milho consorciado com feijão-de-porco em duas épocas de cultivo no sistema orgânico de produção. **Revista Brasileira de Ciência e Tecnologia**, v. 31, p. 903-908, 2007.

PIETERS, A.J. *Green manuring-principles and practice* - John Wiley & Sons, inc. New York, 1927.

PIMENTEL, C. **Metabolismo de carbono na agricultura tropical**. Seropédica: Edur, 1998. 150p.

PORTELA, F. & VESENTINI J. W. **Êxodo rural e urbanização**. 1 ed. São Paulo: Ática, 1995, 47p.

QUEIROZ, L. R. **Leguminosas como fonte de nitrogênio para a cultura do milho, em Campos dos Goytacazes, RJ**. 2006. 72 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2006.

RAO, A. C. S.; SMITH, J. L.; PARR, J. F.; PAPENDICK, R. I. Considerations in estimating nitrogen recovery efficiency by the difference and isotopic dilution. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v.3, n. 33, p. 209-217, 1992.

RESENDE, A. S. de. **A fixação biológica do nitrogênio como suporte da produtividade e fertilidade nitrogenada dos solos na cultura de cana-de-açúcar: uso de adubos verdes.** 2000. 123p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, RJ.

RIBAS, R. G. T.; JUNQUERA, R. M.; OLIVEIRA, F. L.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. de; RIBEIRO, R. L. D. **Adubação verde na forma de consórcio no cultivo do quiabeiro sob manejo orgânico.** Seropédica-RJ. Embrapa Agrobiologia (Comunicado Técnico nº 54), 2002.

RODRIGUES, J. E. L. F.; ALVES, R. N. B.; LOPES, O. M. N.; TEIXEIRA, R. N. G.; ROSA, E. S. **A importância do feijão de porco (*Canavalia ensiformis* DC.) como cultura intercalar em rotação com milho e feijão caupi em cultivo de coqueirais no município de Ponta-de-Pedras/Marajó-PA.** Belém: Embrapa Amazônia, 2004, 4p. . (Comunicado Técnico n 96)

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palha de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 27, p. 355-362, 2003.

SALA, V. M. R.; SILVEIRA, A. P. D.; CARDOSO, E. J. B. N. Bactéria diazotróficas associadas a plantas não-leguminosas. In: SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. *Microbiologia do solo e qualidade ambiental.* Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2007, 312p.

SCHREIBER H. A.; STANBERRY, C. O.; TUCKER, H. Irrigation and nitrogen effects sweet corn row number at various growth stages. *Science*, Washington, v.135, n.1, p.135-136, 1998.

SEVERINO, F. J. **Supressão da infestação de plantas daninhas pelo sistema de produção de integração lavoura-pecuária.** 2005. 113 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SEVERINO, F. J.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Weed supression by smother crops and selective herbicides. **Scientia Agricola.**, v. 61, n. 1, p. 21–26, 2004.

SILVA, E. C.; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; VELOSO, M. E. C.; TRIVELIN, P. C. O. Aproveitamento do nitrogênio (15N) da crotalária e do milheto pelo milho sob plantio direto em Latossolo Vermelho de Cerrado. **Ciência Rural**, v.36, p.739-746, 2006.

SILVA, J. A. A. DA; VITTI, G. C.; STUCHI, E. S. 2, SEMPIONATO, O. R. Reciclagem e incorporação de nutrientes ao solo pelo cultivo intercalar de adubos verdes em pomar de laranja-‘pêra’. **Revista Brasileira de Fruticultura.** Jaboticabal-SP, v. 24, n. 1, p. 225-230, 2002

SILVA, J. A. A.; DONADIO, L. C.; CARLOS, J. A. D. **Adubação verde em citros**. Jaboticabal: FUNEP, 1999. 37p. (Boletim Citrícola, 9).

SILVA, P. R. F. da; NEPOMUCENO, A. L. Efeito de arranjo de plantas no rendimento de grãos, componentes do rendimento, teor de óleo e no controle de plantas daninhas em girassol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.26, n.9, p.1503-1508, set. 1991.

SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.253-260, 2001.

SOUZA, C. M.; PIRES, F. R. **Adubação verde e rotação de culturas**. Viçosa: UFV, 2002. 72p. (Cadernos Didáticos, 96).

SOUZA, D. F. A adubação verde e o problema dessa prática agrícola na lavoura canavieira paulista. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1953. Tese de Doutorado.

SOUSA, G. M. M. **Adubação orgânica e densidades de plantas em *Crotalaria juncea* antecedendo arroz**. 2011. 48f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró - RN, 2011.

SOUZA, W. J. O.; MELO, W. J. Teores de nitrogênio no solo e nas frações da matéria orgânica sob diferentes sistemas de produção de milho. Viçosa, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p.885-896, 2000.

SPAGNOLLO, E.; BAYER, C.; WILDNER, L. P.; ERNANI, P. R.; ALBUQUERQUE, J. A.; NADAL, R.. Análise econômica do uso de leguminosas estivais intercalares a cultura do milho, na ausência e na presença de adubação nitrogenada, no oeste de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 25, 709-715, 2001.

SPAGNOLLO, E.; BAYER, C.; WILDNER, L. P.; ERNANI, P. R.; LBUQUERQUE, J. A.; PROENÇA, M. M. Leguminosas estivais intercalares como fonte de nitrogênio para a cultura do milho, no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.417- 423, 2002.

SUZUKI, L. E. A. S.; ALVES, M. C. Fitomassa de plantas de cobertura em diferentes sucessões de culturas e sistemas de cultivo. **Bragantia**, Campinas: IAC, v.65, n.1, p.121- 127, 2006.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 3 ed. 2004, 722p.

TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J. & BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre, Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1985. 188p. (Boletem Técnico, 5)

TOKURA, L. K.; NÓBREGA, L. H. P. Alelopatia de cultivos de cobertura vegetal sobre plantas infestantes. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 3, p. 379-384, 2006.

TORRES, J. L. R. et al. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n.3, p.609-618, 2005.

VON OSTERROHT, M. O que é uma adubação verde: princípios e ações. **Agroecologia Hoje**, Botucatu, n. 14, p. 9-11, maio/jun 2002.

WEBER, M. A.; MIELNICZUK, J. Estoque e disponibilidade de nitrogênio no solo em experimento de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa MG, v. 33, n. 2, p. 429-437, 2009.

WUTKE, E. B.; TRANI, P. E.; AMBROSANO, E. J.; DRUGOWICH, M. I. **Adubação verde no Estado de São Paulo**. Campinas, n. 249, junho 2009. (Boletim Técnico, 249)

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