



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA

CARLOS CÉSAR MARTINS DE SOUSA

**MELHORIAS NO AMBIENTE EDÁFICO E NA CULTURA DO MILHO
PROMOVIDAS PELO USO DE GESSO, COBERTURA COM PALHA DE
LEGUMINOSAS ARBÓREAS E FERTILIZANTES MINERAIS**

São Luís - Maranhão
Julho de 2012

CARLOS CÉSAR MARTINS DE SOUSA

Zootecnista

**MELHORIAS NO AMBIENTE EDÁFICO E NA CULTURA DO MILHO
PROMOVIDAS PELO USO DE GESSO, COBERTURA COM PALHA DE
LEGUMINOSAS ARBÓREAS E FERTILIZANTES MINERAIS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão, para obtenção do título de Mestre em Agroecologia.

Orientador: Prof. Dr. Emanuel Gomes de Moura

São Luís - Maranhão

Julho de 2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA

Carlos César Martins de Sousa

**MELHORIAS NO AMBIENTE EDÁFICO E NA CULTURA DO MILHO
PROMOVIDAS PELO USO DE GESSO, COBERTURA COM PALHA DE
LEGUMINOSAS ARBÓREAS E FERTILIZANTES MINERAIS**

Dissertação defendida e aprovada em : 28 / 07 / 20012

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Emanuel Gomes de Moura (Orientador)

Prof. Dr. Heder Braun (UEMA)

Prof. Dr. Eduardo Fávero Caires (UEPG)

DEDICO

Aos meus queridos pais, Odilon Odorico de Sousa e Maria de Jesus Martins de Sousa, que oferecem amor verdadeiro e incondicional em todos os dias de minha vida, pela educação e pelo incentivo que deram ao longo de minha caminhada.

À minha querida esposa, Ana Lúcia e aos meus amados filhos, Ana Gabriela e Odilon que, apesar de minha limitada presença em vossas vidas, sempre me acolheram com amor, me compreenderam e me apoiaram.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por conceder a cada novo dia: força, esperança e fé e, por sempre está presente em meu coração em todos os momentos de minha vida.

A todos os meus familiares pelos quais tenho imenso amor! Muito obrigado pelo apoio e incentivo e por todos os momentos compartilhados juntos.

Aos colegas de turma: Flávio, Fagner, Kelly, Cristina, Amanda, Levi e Elton, pela amizade, companheirismo, incentivo e ajuda nos trabalhos de campo e laboratório e todos os momentos compartilhados juntos.

Às colegas Edilaine e Isabel pela amizade e companheirismo, Marta, Virley, Thaís, Elvira, Karina, Ingrid, Danúbia e aos colegas Lucas e João Guilherme que muito ajudaram nos trabalhos de campo e laboratório. Em fim, a todos aqueles que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos colaboradores Dionízio, Neto, Sr. Renê, Carmelita, Maria e Haydée.

À Rayanne, pelo pronto atendimento na Secretaria do Mestrado em Agroecologia.

Ao meu orientador Prof. Emanuel Gomes de Moura, por ter me aceito como orientado e pela orientação necessária para a conclusão de mais essa etapa.

Aos professores da UEMA/Mestrado em Agroecologia, pela dedicação e ensinamentos durante o período do curso, especialmente à Prof^ª. Antonia Alice Costa Rodrigues pela atenção especial e acolhimento que teve comigo ao ingressar e durante o Mestrado.

À Prof^ª. Alana das Chagas Ferreira Aguiar e ao Prof. Heder Braun pelas valiosas contribuições de correções deste trabalho.

Ao CNPq pela concessão da bolsa.

“Existe uma coisa que uma longa existência me ensinou: toda a nossa ciência, comparada à realidade, é primitiva e inocente; e, portanto, é o que temos de mais valioso”.

Albert Einstein

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	ii
RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	iv
1. INTRODUÇÃO.....	12
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1 Solos Coesos.....	14
2.2 Problemas relacionados aos solos coesos com elevada resistência, quando secos.....	16
2.3 Benefícios do Plantio Direto x Restrições da Correção da Acidez do Solo.....	17
2.4 Efeito do Plantio Direto na Palha de Leguminosas Arbóreas.....	20
2.5 Efeito da Cobertura com Leguminosas sobre a Coesão do Solo.....	21
2.6 Uso do Gesso na Agricultura.....	22
2.7 Efeito do Uso do Gesso na Cultura do Milho.....	24
2.8 Enraizamento e Absorção de Água e Nutrientes.....	25
2.9 A absorção e remobilização do Nitrogênio.....	26
2.10 Eficiência do Uso de Nutrientes pelas Plantas.....	27
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	29
3.1 Área Experimental.....	29
3.2 Delineamento Experimental e Tratamentos.....	29
3.3 Instalação e Condução do Experimento.....	30
3.4 Parâmetros Avaliados.....	32
3.5 Análise Estatística	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5. CONCLUSÕES.....	46
6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	47

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1 - Precipitação pluvial no decorrer do experimento.....	29
FIGURA 2 - Crescimento radicular do milho sob diferentes tratamentos com uso de gesso, ramos de leguminosas arbóreas e fertilizantes minerais.....	39
FIGURA 3 - Matéria seca da parte aérea nas fases de floração e maturação do milho sob diferentes tratamentos com uso de gesso, ramos de leguminosas arbóreas e fertilizantes minerais.....	40
FIGURA 4 - Índice de área foliar do milho sob diferentes tratamentos com uso de gesso, ramos de leguminosas arbóreas e fertilizantes minerais.....	41
FIGURA 5 - Frequência em relação diferentes classes de peso do milho sob diferentes tratamentos com uso de gesso, leguminosas arbóreas e fertilizantes minerais.....	44

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1 - Caracterização física e química do solo da área experimental.....	31
TABELA 2 - Análise química da cal hidratada e do gesso mineral utilizados no experimento.....	31
TABELA 3 - Características químicas do solo após colheita do experimento em 2011.....	37
TABELA 4 - Parâmetros de produtividade do milho em relação a diferentes tratamentos com uso do gesso, leguminosas arbóreas e fertilizantes minerais.....	43
TABELA 5 - Avaliação do nitrogênio (N) sob vários parâmetros e índice de colheita (IC) na cultura do milho sob diferentes tratamentos com uso de gesso, leguminosas arbóreas e fertilizantes minerais	45

MELHORIAS NO AMBIENTE EDÁFICO E NA CULTURA DO MILHO PROMOVIDAS PELO USO DE GESSO, COBERTURA COM PALHA DE LEGUMINOSAS ARBÓREAS E FERTILIZANTES MINERAIS

Resumo:

No estado do Maranhão a maior parte da produção de culturas alimentares é realizada por meio da agricultura itinerante, no sistema de corte e queima, em solos predominantemente de baixa fertilidade natural e suscetíveis à coesão. Este trabalho teve como principal objetivo estudar os efeitos do gesso em combinação com leguminosas arbóreas e fertilizantes minerais nos atributos do solo e na cultura do milho. O delineamento experimental empregado foi em blocos ao acaso com seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram: Gesso (12 t ha^{-1}) + Leguminosas + Uréia + KCl; Gesso (6 t ha^{-1}) + Leguminosas + Uréia + KCl; Gesso (6 t ha^{-1}) + Leguminosas; Gesso (6 t ha^{-1}) + Uréia + KCl; Leguminosas; e Controle. A produção de matéria seca do milho foi quantificada na floração e maturação, e os teores de N nas plantas e nos grãos foram determinados. No período da floração do milho foram coletadas amostras de raízes nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm e determinada a densidade de comprimento radicular do milho. Na floração foi determinado o índice de área foliar (IAF). Na maturação foram avaliados a produtividade de grãos, o nº de espigas/planta, o peso e a frequência de peso de 100 grãos. Ao final do experimento foram realizadas análises de solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm, tendo-se determinado o pH e os teores de matéria orgânica, de P disponível e de Ca, Mg e K trocáveis. Os resultados do IAF, matéria seca na floração e maturação, peso de 100 grãos, número de espigas/planta e produtividade de grãos não diferiram estatisticamente entre os tratamentos com gesso e Leguminosas, mas diferiram do tratamento controle. Sugeriu-se que somente o uso de gesso não foi suficiente para promover alterações que refletissem em respostas nos parâmetros avaliados na cultura do milho. Os valores da densidade de comprimento radicular não diferiram entre tratamentos nas profundidades de 10-20 e 20-30 cm. Os teores de N foram maiores nos tratamentos com leguminosas e uréia e nessa combinação houve maior nitrogênio remobilizado (NR) e eficiência de nitrogênio remobilizado (ENR). O gesso aumentou a soma de bases e a percolação do Ca e Mg ao longo do perfil do solo. A cobertura com leguminosas arbóreas proporcionou mais efeito sobre os parâmetros avaliados nas plantas de milho do que o gesso. O uso de leguminosas arbóreas combinado com adubos minerais constitui-se uma alternativa viável para a agricultura familiar praticada no estado do Maranhão.

Palavras-chaves: Coesão. Lixiviação. Remobilização e Eficiência do Uso de Nutrientes.

IMPROVEMENTS IN AND CULTURE SOIL ENVIRONMENT CORN PROMOTED BY THE USE OF GYPSUM, COVER WITH STRAW LEGUME TREE AND MINERAL FERTILIZER

Abstract:

In the state of Maranhão most of the food crop production is performed by shifting cultivation, the slash and burn system, predominantly in soils of low fertility and susceptible cohesion. This work aimed to study the effects of gypsum in combination with leguminous trees and mineral fertilizers on soil properties and corn. The experimental design was randomized blocks with six treatments and four replications. The treatments were: Gypsum (12 t ha^{-1}) + Legumes + Urea + KCl; Gypsum (6 t ha^{-1}) + Legumes + Urea + KCl; Gypsum (6 t ha^{-1}) + legumes; Gypsum (6 t ha^{-1}) + urea + KCl; legumes, and Control. The dry matter production of maize was measured at flowering and maturation, and the N content in plants and grains were determined. In the period of flowering maize root samples were collected at 0-10, 10-20 and 20-30 cm and determined to root length density of maize. At flowering was determined the leaf area index (LAI). At maturity were evaluated grain yield, the number of spikes / plant, weight and frequency of weight of 100 grains. At the end of the experiment were analyzed soil at depths of 0-5, 5-10, 10-15 and 15-20 cm, and it was determined the pH and organic matter content, available P and Ca, Mg and exchangeable K. The results of LAI, dry matter at flowering and maturity, 100-grain weight, number of spikes / plant and grain yield did not differ among treatments with gypsum and legumes, but differed from the control treatment. It was suggested that only the use of gypsum was not enough to promote changes that reflected in responses to the parameters evaluated in corn. The values of root length density did not differ between treatments at depths of 10-20 and 20-30 cm. The N contents were higher in treatments with urea and legumes and this combination was more remobilized nitrogen (NR) and efficiency of nitrogen remobilized (ENR). Gypsum increased bases and the sum of Ca and Mg percolation through the soil profile. Coverage with leguminous trees provided more effect on the evaluated parameters in maize plants than plaster. The use of leguminous trees combined with mineral fertilizers constitutes a viable alternative for family agriculture practiced in the state of Maranhão.

Keywords: Cohesion. Leaching. Remobilization and Nutrient Use Efficiency.

MELHORIAS NO AMBIENTE EDÁFICO E NA CULTURA DO MILHO PROMOVIDAS PELO USO DE GESSO, COBERTURA COM PALHA DE LEGUMINOSAS ARBÓREAS E FERTILIZANTES MINERAIS

1 – INTRODUÇÃO

O manejo mais sustentável dos solos com baixa fertilidade natural nos trópicos úmidos apresenta grandes desafios para os produtores familiares agrícolas e também para os pesquisadores que atuam nesta área. O corte e a queima são práticas de manejo predominantes nos sistemas agrícolas das regiões dos trópicos, incluindo muitas partes do Brasil. No sistema de corte e queima a vegetação é cortada e queimada para dar lugar às culturas de interesse econômico. Esta forma de uso da terra resulta em produção de curta duração em função do rápido esgotamento dos nutrientes do solo, afeta negativamente a biodiversidade e contribui para o aquecimento global (FEARNSSIDE, 2002; AGUIAR et al., 2010).

Diante de tais condições de exploração do solo, praticadas nas regiões dos trópicos úmidos, é extremamente difícil estabelecer sistemas de produção adequados para os produtores familiares rurais sem recorrer a práticas nocivas ao meio ambiente. Desafios surgem a partir de uma combinação de fatores que reduzem a eficiência do uso de nutrientes agrícolas (AGUIAR et al., 2010). O primeiro fator é o endurecimento do solo, causado por repetidos ciclos de molhamento e secagem dos solos com baixos níveis de ferro livre e de carbono orgânico, causando redução do volume de solo hábil para o bom enraizamento das culturas (MULLINS, 1999). O segundo fator é a alta taxa de remoção de nutrientes do perfil do solo decorrente da lixiviação e da baixa capacidade de retenção de cátions dos solos altamente intemperizados, que ocorrem com muita frequência nas regiões dos trópicos (MOURA et al., 2010).

A remoção de bases do perfil no agroecossistema é governada pela interação entre vários fatores, entre os quais a capacidade de troca de cátions (CTC) e a porosidade do solo, o excesso de precipitação pluvial em relação à evapotranspiração e a capacidade de reciclagem do sistema (HARTETEMINK, 2006). Conforme Kolahchi & Jalali (2007), uma fraca interação entre os nutrientes e a matriz do solo, com baixa CTC, pode aumentar a concentração na solução de cátions aplicados; a predominância do cálcio (Ca) causa a dessorção de outros elementos, especialmente do potássio (K), cujas perdas podem atingir até 80 kg ha⁻¹ (JHONSTON et al., 1993).

Melhorias no solo cultivado não podem ser mantidas se a deterioração da estrutura e dos poros não for prevenida, e perdas de nutrientes na zona radicular não são reduzidas (DECHERT et al., 2005). O processo de preparo do solo quebra a continuidade dos poros e canais existentes no solo por onde o excesso de água flui livremente em condições naturais, propiciando alagamento da camada preparada (MOURA, 2006). Segundo Busscher et al. (2002), o estabelecimento de uma camada superficial de solo rica em nutrientes e em minerais é especialmente importante nos trópicos úmidos, onde fortes chuvas afetam a estrutura do solo e a lixiviação carrega os nutrientes para profundidades fora do alcance das raízes das culturas.

A necessidade premente de aumentar a produtividade agrícola e a urgência de reduzir os impactos ambientais gerados pela queima remete aqueles que se preocupam com tal realidade à árdua e incessante busca para encontrar alternativas que possivelmente possam substituir o sistema de corte e queima. Infelizmente, práticas agrícolas que são recomendadas para o cerrado brasileiro, como a saturação dos solos com nutrientes solúveis, não garantem a sustentabilidade de agroecossistemas na periferia da Amazônia (MOURA et al., 2008; AGUIAR et al., 2010).

Várias alternativas à agricultura itinerante vêm sendo testadas nas estações experimentais e nas áreas de produtores, como a combinação de culturas perenes e culturas anuais em sistemas agroflorestais entre os quais o sistema de cultivo em aléias, no qual são combinadas leguminosas arbóreas com alta e baixa relação carbono/nitrogênio (C/N) (FERRAZ JÚNIOR, 2006; MOURA et al., 2010). No sistema plantio direto, o gesso pode ter importante efeito complementar à calagem ao promover melhoria no ambiente radicular de camadas mais profundas do solo (RAIJ, 2008).

Como hipótese, espera-se que a combinação de gesso, leguminosas arbóreas e adubos minerais possa promover efeitos benéficos sobre a coesão e na enraizabilidade do solo, constituindo-se uma alternativa para a melhoria da produtividade das culturas nos trópicos úmidos.

Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos do uso de gesso em combinação com ramos de leguminosas arbóreas (leucena – *Leucaena leucocephala* e sombreiro - *Clitoria fairchildiana*) e fertilizantes minerais, sobre a coesão e enraizabilidade do solo, e o comportamento da cultura do milho.

2 – REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 – Solos Coesos

Diferenças marcantes entre os graus de consistência do solo seco e solo úmido, principalmente em termos de incremento do grau de consistência a seco (resistência) podem ser observadas em alguns horizontes de solos da faixa dos Tabuleiros Costeiros, nas regiões Sudeste e Nordeste do Brasil (GIAROLA et al., 2001). Esse tipo de comportamento de solo foi incorporado ao Sistema Brasileiro de Classificação de Solos por meio da criação e utilização do designativo “coeso” (EMBRAPA, 2006).

O termo “coeso” caracteriza materiais de solo que, quando secos, apresentam um incremento acentuado de resistência (a ponto de restringir o preparo do solo e o desenvolvimento das culturas), e se abrandam no momento em que são umedecidos (RIBEIRO, 2001). Devido à ocorrência de solos com esse comportamento em uma extensa área do território brasileiro, o atributo coeso foi incluído no sistema taxonômico nacional, aparecendo como característica diagnóstica da classe dos Latossolos Amarelos (EMBRAPA, 2006).

Na Austrália, essas diferenças em termos de consistência há muito tempo foram incorporadas ao sistema de classificação de solos, por intermédio do atributo “hardsetting” (HARPER & GILKES, 1994). Esse atributo caracteriza solos com horizontes compactos, duros, de condição aparentemente apedal formada durante o secamento, mas que se abrandam durante o umedecimento (McDONALD et al., 1990). Existem características comuns entre o comportamento “hardsetting” e outros tipos de comportamento de solo, como os “fragipãs”. No entanto, os horizontes “hardsetting” não devem ser confundidos com “fragipãs”, os quais também têm altos níveis de coesão, mas apresentam pedogênese diversa, ocorrem a maiores profundidades e têm diferentes implicações em relação ao manejo (GIAROLA & SILVA, 2002).

Segundo Giarola & Silva (2002), a possibilidade de existirem solos com comportamento similar aos “hardsetting” no Brasil já havia sido aventada por Mullins et al. (1990), após percorrerem áreas de ocorrência de solos coesos, na região nordeste do país. Tal ocorrência para os australianos seriam solos “hardsetting” e no Brasil seriam solos coesos. Essa hipótese foi comprovada por Giarola et al. (2001), após encontrarem uma série de similaridades entre os parâmetros utilizados para definir o comportamento “hardsetting” e aqueles para determinar o caráter coeso em um Latossolo Amarelo do nordeste brasileiro.

O termo coeso tem sido empregado no Brasil para distinguir horizontes minerais superficiais e subsuperficiais de solos que apresentam consistência dura, muito dura ou até extremamente dura quando secos, e friável quando úmidos (JACOMINE, 1996). E o caráter coeso, ainda que de definição pouco consistente, foi e continua sendo utilizado na estruturação taxonômica de Latossolos no atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (EMBRAPA, 2006), principalmente os amarelos desenvolvidos de sedimentos do Grupo Barreiras. Têm sido constatados também solos vermelhos coesos na região dos Tabuleiros do sul da Bahia, norte do Espírito Santo e nordeste de Minas Gerais, nem sempre desenvolvidos sobre sedimentos do Grupo Barreiras (CORRÊA et al., 2008).

De acordo com Corrêa et al. (2008), vários foram os trabalhos direcionados ao estudo da gênese dos horizontes coesos de Latossolos e Argissolos Amarelos no Brasil (MOREAU, 2001). Entretanto, entre os resultados encontrados, muitos mostraram-se contraditórios e poucos conclusivos. Além disso, muitos estudos foram realizados com horizontes não típicos, tendo, como consequência, a geração de dados não representativos. Isso vale tanto no que se refere à gênese desses solos, como também na aplicação direta e imediata do conhecimento adquirido no direcionamento de práticas de preparo do solo, particularmente aquelas relacionadas à profundidade de subsolagem e necessidade de adaptação de equipamentos agrícolas indispensáveis ao rompimento da camada coesa (ou parte dela).

As características dos solos coesos refletem sua origem a partir de depósitos sedimentares do período Terciário (Grupo Barreiras) de materiais argilosos, argilo-arenosos ou arenosos, sempre bastante meteorizados. A mineralogia da fração argila tem mostrado que a caulinita é o mineral dominante, e a fração areia é constituída essencialmente por quartzo (REZENDE, 2000).

Em função do material de origem, os teores de Fe_2O_3 (ataque com H_2SO_4) são inferiores a 80 g kg^{-1} , com predomínio de goethita, conferindo-lhe as cores amareladas típicas, geralmente bruno-amarelada, tendendo muitas vezes para cores mais pálidas, bruno-amarelado claro, bruno claro acinzentado ou bruno no matiz 10 YR, com valores 5 e 6 e cromas entre 3 e 6 (RIBEIRO, 2001). Uma característica comum desses solos é o Ki elevado (normalmente de 1,7 a 2,0), quando comparado aos valores geralmente observados nos Latossolos e Argissolos, em função da pequena quantidade de óxidos de ferro e alumínio, e da presença dominante de caulinita.

Os horizontes coesos dos solos não apresentam organização estrutural nítida da massa do solo e atribui-lhe geralmente uma estrutura maciça, com graus variáveis de coesão (moderadamente coesos a coesos) e densidade do solo média na faixa de $1,5$ a $1,8 \text{ kg dm}^{-3}$

(ARAÚJO FILHO et al., 2001). Os limites de textura descritos variam de franco-argiloarenosa a muito argilosa (REZENDE, 2000) e o grau de coesão é proporcional ao aumento do teor de argila (RIBEIRO, 2001). Os horizontes coesos não devem ser confundidos com “fragipãs”, que também têm altos níveis de coesão, mas apresentam quebradicidade moderada, rompendo-se subitamente quando submetidos à pressão entre o polegar e o indicador. Os coesos passam por lenta deformação, quando examinados úmidos (JACOMINE, 2001).

Horizontes coesos de solos apresentam-se dessaturados de bases, ácidos (pH em água normalmente entre 4,0 e 5,0) e, normalmente, atingem valores elevados de alumínio trocável, sendo raros os registros de solos eutróficos (zona semi-árida) (JACOMINE, 2001). O teor em carbono, mesmo nos solos argilosos sob mata, raramente se eleva acima de 15 g kg^{-1} (RIBEIRO, 2001).

2.2 - Problemas relacionados aos solos coesos com elevada resistência, quando secos

Os solos que desenvolvem elevada resistência, durante o secamento são fonte de limitações físicas, cujos efeitos podem ser imperceptíveis ou devastadores em relação ao preparo e desenvolvimento das culturas. Mullins et al. (1990) indicaram uma gama de problemas agrônômicos associados aos solos com esse comportamento, incluindo o tempo restrito para o preparo do solo e o incremento dos impedimentos físicos para o adequado desenvolvimento radicular.

Por causa da elevada resistência desses solos, quando secos, Giarola & Silva (2002) inferiram que tias solos trazem sérias implicações ao crescimento das raízes porque a resistência do solo à penetração (RP) normalmente excede 3 MPa, antes que o solo tenha atingido o ponto de murcha permanente (- 1,5 MPa de potencial mátrico). O valor de 3 MPa é suficiente para impedir severamente ou parar o crescimento radicular e limitar a emergência de hipocótilos (MULLINS, 1997). Weaich et al. (1992a) e Masle & Passioura (1987) relataram como o efeito “hardsetting” impede a emergência dos hipocótilos e como esse efeito poderia ser teoricamente prognosticado. Em solos coesos do nordeste brasileiro, Rezende (2000) observou efeito negativo do aumento da resistência dos horizontes coesos do solo no desenvolvimento do sistema radicular da laranjeira, sobretudo o das raízes pivotantes.

Para o crescimento das raízes, a RP é particularmente importante durante o secamento dos solos “hardsetting” e coesos. Nessa situação, as raízes não encontram caminhos para se desenvolverem, devido à ausência de fendas estruturais. Alguns solos estudados por Mullins

et al. (1987) desenvolveram resistência à penetração acima de 3 MPa, antes mesmo de terem secado a um potencial de -0,1 MPa. Ley et al. (1995) encontraram RP igual ou maior a 2 MPa em alguns solos da Nigéria, quando foram secados a um potencial matricial de apenas -0,1 MPa. Resultados similares foram obtidos para solos “hardsetting” do Reino Unido (YOUNG et al., 1991), Austrália (MULLINS et al., 1992) e Tanzânia (MULLINS, 1997), e para solos coesos do nordeste do Brasil (GIAROLA et al., 2001).

Os horizontes “hardsetting” e coesos limitam o crescimento do sistema radicular das culturas e, assim, a produtividade, porque reduzem a infiltração da água no solo e promovem a falta de aeração, o aumento de escoamento superficial da água da chuva ou irrigação e o acúmulo de água nas depressões (RIBEIRO, 2001). A redução do crescimento do sistema radicular contribui para o aumento da deficiência de água em virtude do menor volume de solo explorado. Sob irrigação, é possível superar algumas destas limitações, mas o colapso estrutural pode levar a uma restrição na aeração das raízes e na absorção de água (REZENDE, 2000).

No caso dos solos com horizontes coesos, as limitações são mais graves nos mais argilosos, com textura argilo-arenosa ou mais fina no horizonte coeso. Nestes casos, o sistema radicular é limitado pela dureza, quando o solo está seco, e pela falta de aeração, no período chuvoso. Nos perfis mais arenosos, o simples aprofundamento da umidade reduz a resistência à penetração das raízes, sem que haja excesso de umidade (RIBEIRO, 2001).

Os solos “hardsetting” e coesos, ao secarem simultaneamente, aumentam progressivamente o impedimento mecânico do solo e, conseqüentemente, reduzem a taxa de crescimento radicular. Entretanto, quando o perfil é umedecido e o impedimento mecânico do solo reduzido, as raízes podem recuperar rapidamente o crescimento. Dessa maneira, o efeito total na distribuição das raízes no perfil do solo dependerá do modelo de distribuição das chuvas local e do grau de umedecimento do solo. O efeito das restrições causadas pelo endurecimento do solo no crescimento radicular e, conseqüentemente, no desenvolvimento das culturas, foi modelado para solos com horizonte “hardsetting” por Bradley e Crout, usando RP versus características de sucção mátrica em solos da Tanzânia (MULLINS, 1997).

2.3 – Benefícios do Plantio Direto x Restrições da Correção da Acidez do Solo

Nas regiões agricultáveis do Brasil, tem-se aumentado o interesse pela busca de alternativas para a introdução de culturas no sistema plantio direto, sem proporcionar revolvimento do solo. As vantagens desse procedimento estão relacionadas com a

manutenção de atributos químicos e estruturais do solo, com o maior controle da erosão e com a economia com as operações de incorporação de calcário e preparo do solo. No entanto, caso a acidez do solo não seja adequadamente corrigida, o crescimento radicular e a nutrição das plantas podem ser comprometidos (CAIRES et al., 2004).

Na década de 1980, quando se achava que o controle da fertilidade do solo seria suficiente para garantir a produtividade, o fenômeno da erosão colocava em dúvida essa percepção, ao remover a parte mais fértil dos solos, além de causar danos irreversíveis nos solos e nos cursos d'água. Campanhas de conservação do solo e programas de microbacias hidrográficas foram realizados com maior sucesso nos estados do Sul do Brasil. Foi, porém, o desenvolvimento do plantio direto ou, de forma mais ampla, da agricultura de conservação, que criou nova expectativa para a agricultura (RAIJ, 2008).

O plantio direto tem se mostrado como um sistema de manejo de solo eficiente para a manutenção da sustentabilidade dos recursos naturais. A eficiência de tal sistema decorre da cobertura do solo proporcionada pelos resíduos vegetais deixados sobre a superfície do solo. Os resíduos vegetais exercem efeito protetor para o solo contra o impacto da gota de chuva. Além de proteger o solo contra o efeito desagregador da gota de chuva, os resíduos vegetais são eficazes para reduzir a concentração de sedimentos no escoamento superficial, por diminuírem sua velocidade em razão da barreira física formada. Na passagem da água entre os resíduos, ocorre a filtração dos sedimentos em suspensão diminuindo o escoamento superficial (BERTOL, 2005).

A consolidação da superfície e ausência de revolvimento do solo no sistema plantio direto faz com que a eficiência deste sistema em controlar as perdas de água, em relação às perdas de sedimentos, seja maior (BERTOL, 2005). Por consequência, o plantio direto faz com que as perdas de nutrientes tenham uma relação mais direta com as perdas de água do que com as perdas de sedimentos proporcionadas pelo escoamento superficial (CASSOL et al., 2002). As perdas pelo escoamento superficial são fortemente influenciadas pelo preparo, o qual influi na rugosidade superficial e nas propriedades físicas de superfície e subsuperfície do solo (BEUTLER et al., 2003).

A maneira como o solo é manejado pode deixar a superfície do terreno irregular ou lisa. Na ausência de cobertura do solo por resíduos culturais, as microdepressões resultantes do preparo do solo, que deixam o solo irregular ou rugoso, assumem importância fundamental para reduzir o escoamento da água da chuva e aumentar sua infiltração no solo. Em adição, a rugosidade superficial do solo causa aprisionamento dos sedimentos do escoamento, promovendo sua deposição e reduzindo as perdas de solo da lavoura (VOLK et al, 2004).

Dentre as propriedades físicas afetadas pelo manejo do solo destacam-se: a estrutura, a densidade e a porosidade. Estas propriedades alteram a capacidade de infiltração de água e a susceptibilidade do solo à erosão hídrica. Em solos manejados de forma inadequada e submetidos à aração e gradagens, ocorre a diminuição na porosidade, na estabilidade dos agregados e na infiltração de água no solo, e aumenta no escoamento superficial, facilitando a erosão. Solos que possuem porosidade adequada apresentam alta condutividade hidráulica e pequeno escoamento superficial. Solos com baixa permeabilidade favorecem a formação do escoamento superficial, potencializando as perdas de água e sedimentos (BEUTLER et al., 2003).

O manejo de áreas em plantio direto por vários anos consecutivos promove acúmulo de matéria orgânica no solo, principalmente em superfície, refletindo em melhoria na agregação do solo, aumento da atividade biológica, maior disponibilidade de nutrientes para as culturas, complexação de elementos tóxicos, além de promover aumento da CTC (BAYER & MIELNICZUK, 2008). No entanto, devido ao longo período de tempo sem o revolvimento do solo, essas áreas podem apresentar impedimentos físicos e químicos para o aprofundamento do sistema radicular das culturas. Dessa forma, a aplicação de gesso agrícola constitui-se uma alternativa para melhoria em profundidade do solo e, conseqüentemente, do ambiente para o crescimento das raízes de plantas (NEIS et al., 2010).

A interação entre o alumínio (Al) e a matéria orgânica (MO) é uma das reações que mais influencia as propriedades dos solos ácidos (URRUTIA et al., 1995). A fração orgânica do solo possui a capacidade de complexar cátions, dentre eles o Al (VANCE et al., 1996). Desse modo, no sistema plantio direto (SPD), devido aos maiores teores de matéria orgânica (MO) em relação ao sistema convencional de preparo do solo (LOVATO et al., 2004), a quantidade de Al complexado com ligantes orgânicos (Al-MO) assume grande importância, como constatado por Cambri (2004) para amostras de solos cultivados sob SPD de diferentes localidades brasileiras, em que o Al-MO predominou sobre a forma trocável (Al^{+3}).

O efeito negativo da acidez do solo e da toxidez por Al na produção agrícola não tem sido observado na maior parte dos solos cultivados sob SPD, e a ausência de resposta das culturas à calagem, nesse caso, tem sido comum (ALLEONI et al., 2005; CAIRES et al., 2006). A menor toxicidade do Al encontrada no SPD tem sido associada com a sua complexação pela MO e conseqüente redução de Al^{+3} na solução do solo (HARGROVE e THOMAS, 1981) e formação de complexos com o carbono orgânico dissolvido (ZAMBROSI et al., 2007). Assim, a biodisponibilidade e o potencial tóxico dos elementos no ambiente dependem de sua especiação na solução do solo (CANCÈS et al., 2003).

Como consequência, as doses de corretivo da acidez têm diminuído no SPD, chegando a ocorrer até mesmo a suspensão de sua aplicação em algumas áreas cultivadas. No entanto, a acidificação, o revolvimento do solo e a decomposição da MO podem favorecer a alteração da forma não trocável do Al para formas mais tóxicas às plantas. Essa possibilidade justifica os estudos para melhor conhecimento da relação entre o Al trocável e o não-trocável, bem como a variação perante as práticas de manejo do solo, como a calagem e a gessagem (ZAMBROSI et al., 2007).

2.4 – Efeito do Plantio Direto na Palha de Leguminosas Arbóreas

O uso de adubação verde promove melhorias na utilização dos nutrientes pelas culturas, principalmente quando as plantas utilizadas como adubação são leguminosas arbóreas. Os sistemas radiculares destas plantas são capazes de extrair e mobilizar nutrientes de camadas mais profundas (JOSE, 2009), especialmente para evitar a lixiviação de nitrato (NO_3) e potássio (K). Neste contexto, é importante destacar o papel das leguminosas na fixação biológica de N e na reciclagem de N fixado, e quando a biomassa das leguminosas é depositada no solo pode ser uma fonte expressiva de N e promover ao solo potencial para melhorar a fertilidade em longo prazo (OKOGUN, 2000).

A utilização de leguminosas arbóreas além de ser uma alternativa ao sistema de corte e queima, muito utilizado pelos agricultores familiares maranhenses, apresenta viabilidade diante das condições climáticas dos trópicos úmidos. A temperatura e a precipitação pluvial dessa região viabilizam o rápido crescimento das leguminosas arbóreas, ciclagem de nutrientes e grande produção de biomassa que, conseqüentemente, poderá promover a melhoria dos indicadores de qualidade do solo sem interromper o cultivo na área (BRADY, 1996).

O uso de leguminosas arbóreas proporciona manejo mais sustentável dos agroecossistemas nos trópicos úmidos, pela capacidade de cobertura do solo e reciclagem dos nutrientes (K, Ca e N), e por aumentar a produtividade das culturas. Além disso, o aporte de matéria orgânica causa melhoria na estrutura e porosidade do solo, maior controle de plantas daninhas e, pela cobertura adicionada, protege o solo durante as chuvas intensas e conserva sua umidade durante os períodos mais secos (MOURA et al., 2009). A decomposição e a liberação de nutrientes dos resíduos orgânicos variam em função de diversos fatores: quantidade e qualidade do resíduo orgânico, clima, pH, disponibilidade de nutrientes, textura e estrutura do solo, fauna do solo e biomassa microbiana (FERRAZ JÚNIOR, 2004).

A adubação verde com ramos podados de *Leucaena leucocephala* pode ser uma fonte útil de N para as plantas, mas a substituição integral do adubo inorgânico precisa ser adequadamente avaliada. Segundo Sharma & Behera (2010), o uso combinado de adubação verde com biomassa de leucena mais uréia resulta em maior eficiência no uso de N e maior produtividade de milho. Além disso, seu efeito residual em termos de carbono orgânico contribui para o processo de construção da fertilidade do solo em longo prazo.

2.5- Efeito da Cobertura com Leguminosas sobre a Coesão do Solo

Na pré-Amazônia maranhense boa parte dos solos arenosos é susceptível à coesão, torna-se fundamental considerar o equilíbrio entre a qualidade de resíduos para aumentar a eficiência de uso de nutrientes. Moura et al. (2010), ao avaliar a dinâmica da decomposição dos resíduos de leguminosas e a absorção de nutrientes no sistema de cultivo em aléias, verificaram que a combinação leucena mais acácia liberou maior quantidade de N e K e de forma mais lenta durante todo o ciclo vegetativo de cultivo do milho.

O aporte de matéria orgânica causa melhoria da estrutura e porosidade do solo, favorecendo a disponibilidade de água e oxigênio, enraizabilidade, controle da erosão, maior controle das plantas daninhas e, pela cobertura adicionada, protege o solo durante as chuvas intensas e conserva sua umidade durante nos períodos mais secos (Moura et al., 2009). Para reduzir a coesão dos solos, alguns autores como Becher et al. (1997) recomendaram a aplicação de resíduos na superfície como cobertura morta para fornecer cobertura do solo. Isso reduz a perda de umidade e melhora a capacidade de aeração e a infiltração de água no solo (MOURA et al., 2009).

A acácia (*Acacia mangium*) e o sombreiro (*Clitoria fairchildiana*) são leguminosas arbóreas utilizadas em sistemas agroflorestais e caracterizam-se por possuírem alta relação C/N, de 27 e 23, e aporte de biomassa em torno de 9 e 13 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. Estas características atribuem a essas leguminosas melhor adequação aos processos de cobertura, proteção do solo e facilidade de enraizamento. Em decorrência do elevado teor de lignina, a taxa de decomposição é lenta, porém a acácia possui menores teores de N, P, K e Mg quando comparados com os da leucena, gliricídia e sombreiro. No que diz respeito ao Ca e ao P, todas as quatro espécies estudadas apresentaram semelhanças, ressaltando a alta concentração do Ca (13,82 a 17,84 g kg⁻¹) e baixa concentração de P (0,51 a 2,83 g kg⁻¹) no sistema de cultivo em aléias (AGUIAR et al., 2010).

Segundo Sangakkara et al. (2004), o uso da adubação verde promove melhoria nas condições físicas e químicas do solo, além de estimular o desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea. A capacidade da raiz crescer e explorar o solo por água e nutrientes diminui conforme aumenta a resistência do solo (IMHOF et al., 2010). Com a melhoria da estrutura do solo, há incremento na disponibilidade de água e na difusão de oxigênio, e redução na resistência do solo à penetração das raízes.

2.6 – Uso do Gesso na Agricultura

O principal uso do gesso na agricultura se dá na melhoria de solos ácidos em subsuperfície. Na agricultura brasileira, o uso preferencial é, em solos ácidos, uma aplicação inédita em termos mundiais. O fosfogesso, subproduto da fabricação de ácido fosfórico, é o produto mais usado na agricultura (RAIJ, 2008).

Nos anos 70, resultados experimentais apontavam para o uso de gesso como alternativa para a amenização da toxicidade do alumínio (Al) em subsuperfície, devido a sua solubilidade ser 145 vezes maior que a do calcário. Desde então, o insumo tem mostrado eficácia na melhoria do ambiente radicular em profundidade e como fonte de cálcio (Ca) e de enxofre (S) para as culturas, estabelecendo-se como condicionador de solos. Por outro lado, foram apresentados problemas relacionados à aplicação de gesso, como possíveis perdas de magnésio (Mg) e potássio (K) decorrentes da aplicação desse insumo (ROCHA, 2007).

Utiliza-se o gesso agrícola com a finalidade de aumentar o suprimento de Ca e reduzir a toxicidade de Al no subsolo (CAIRES et al., 2001), resultando em melhor ambiente ao crescimento de raízes em profundidade. A calagem superficial ou incorporada e a aplicação de gesso no solo levam a modificações químicas no perfil que podem influenciar o crescimento de raízes das culturas anuais (CAIRES et al., 2001). Por esse motivo, tem sido utilizado o gesso – sulfato de cálcio hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), produto condicionador de solo, que apresenta alta mobilidade no perfil, capaz de disponibilizar os íons Ca^{2+} e SO_4^{2-} em solução e de ser lixiviado, enriquecendo de nutrientes as camadas subsuperficiais e reduzindo a saturação por Al^{3+} em profundidade (RAMOS, et al., 2006).

Apesar de alterar pouco o pH do solo, o gesso agrícola pode diminuir a toxidez do Al trocável para as plantas, reduzir a atividade desse elemento na solução do solo, além de fornecer Ca e S para as plantas em profundidade. Adicionalmente, o íon sulfato promove o carreamento de outras bases, como Mg e K das camadas superficiais do solo, para maiores profundidades (CAIRES et al., 2003), visto que o ânion (SO_4^{2-}) desloca-se com facilidade

para as camadas mais profundas do solo (NEIS, et al., 2010), podendo expor as plantas a eventuais deficiências nas camadas superficiais, caso não se utilize o gesso com base em critérios técnicos.

O gesso agrícola, obtido como subproduto da indústria de produção de fertilizantes fosfatados que contém principalmente sulfato de cálcio hidratado e pequenas concentrações de fósforo (P), é largamente disponível em muitas partes do mundo. Somente no Brasil, cerca de 4-8 milhões de toneladas são produzidas anualmente (RAIJ, 2008). A eficiência do gesso na melhoria dos efeitos da acidez no subsolo tem sido demonstrada em vários trabalhos (CARVALHO & RAIJ, 1997).

A aplicação de gesso na superfície seguida por lixiviação do íon SO_4^{2-} para subsolos ácidos resulta em melhor desenvolvimento radicular e maior absorção de água e nutrientes pelas raízes das plantas (CARVALHO & RAIJ, 1997), em decorrência do aumento da concentração de Ca, da formação de espécies menos tóxicas de Al (AlSO_4^+) e da precipitação de Al^{3+} (SHAINBERG et al., 1989). Em casos de solos com concentração muito baixa de Al, mas com baixa concentração de Ca, o suprimento deste elemento é o principal fator responsável pelo melhor desenvolvimento do sistema radicular (RITCHEY et al., 1982). Ainda há dúvidas, no entanto, sobre as condições em que se podem esperar efeitos favoráveis do gesso nas produções das culturas e quanto ao método de recomendação do produto (CARIÉS et al., 2004).

Os efeitos da aplicação de calcário e gesso influenciam a disponibilidade de nutrientes do solo para as plantas. Estes nutrientes são disponibilizados seja pela aplicação direta de Ca, Mg e S ou por modificações químicas induzidas ao solo sob efeito da aplicação destes produtos. Isto é particularmente verdadeiro no caso de calcário em relação ao pH, o que pode levar a mudanças no conteúdo de nutrientes encontrados em formas solúveis nas plantas. Soratto & Crusciol (2007) avaliaram os efeitos da aplicação superficial de calcário e gesso em culturas anuais e mudanças foram observadas no conteúdo de nutrientes solúveis na parte aérea das plantas. Segundo esses autores, a calagem aumentou o conteúdo de nutrientes solúveis e a soma de cátions. O gesso, por outro lado aumentou o conteúdo de Ca e o conteúdo de Mg solúvel foi reduzido na parte aérea da aveia, arroz e feijão, no florescimento (MARQUES et al., 2011).

O gesso tem efeito floculante no solo, reduzindo a dispersão da argila. Este efeito já é bem conhecido em solos sódicos, mas também se revela em solos ácidos. Existem registros de efeitos favoráveis do gesso no impedimento do encrostamento superficial ou na redução do

adensamento de camadas do subsolo. O gesso pode, também, influir de forma favorável na condutividade hidráulica de solos (RAIJ, 2008).

2.7 – Efeito do Uso do Gesso na Cultura do Milho

O milho é uma das culturas que mais pode se beneficiar de um enraizamento profundo. Quando a cultura é de alta produtividade, a exigência em água é grande e déficits hídricos durante o ciclo podem ser muito prejudiciais. Além disso, é cultura que tem alta demanda em nitrogênio, havendo sempre risco de que parte do nutriente se perca por lixivação. A identificação do efeito do gesso no aprofundamento do sistema radicular no subsolo foi feita primeiramente na cultura do milho. O gesso ao estimular o aprofundamento do sistema radicular permite a absorção do nitrato no subsolo que, sem a aplicação do gesso, não será absorvido (RAIJ, 2008).

A absorção de água e nitrato do subsolo são os mais importantes efeitos que se pode esperar de um desenvolvimento mais profundo do sistema radicular, não somente para a cultura do milho como também para outras culturas. Segundo Rajj (2008), dados experimentais que revelam o efeito favorável do gesso em milho, promovendo melhor enraizamento no subsolo e consequente aumento na absorção de água e de N nítrico foram observados por vários trabalhos experimentais. Melhores resultados foram obtidos com combinações de calcário e gesso. Nos Estados Unidos da América (EUA) foram constatados efeitos residuais de 16 anos após a aplicação do gesso, revelando, ainda, após tantos anos, importantes efeitos na produção de milho.

Sousa e Ritchey (1986) apresentaram resultados quantitativos referentes ao efeito do gesso na retirada de água no perfil do solo. O efeito dessa situação refletiu na produção do milho. Eles referem-se a experimento desenvolvido nos dois anos, na época seca do ano, com irrigação, comparando o resultado sem déficit hídrico com um tratamento em que o milho ficou 21 dias sem irrigação. O aumento da produção com gesso foi considerável, embora bem aquém do efeito produzido pela irrigação.

Em trabalhos conduzidos por Carvalho e Rajj (1997), foram apresentados resultados dos conteúdos de P, S, Ca e Mg contidos na matéria seca do milho e as quantidades absorvidas de N e K. No caso de P e Mg, os tratamentos com os três sais proporcionaram redução de teores desses elementos em relação à testemunha, o que pode ser explicado por diluição em uma quantidade maior de matéria seca, visto que os teores desses dois elementos eram muito baixos nas camadas do subsolo do experimento.

2.8 – Enraizamento e Absorção de Água e Nutrientes

As raízes crescem por um processo de divisão celular na região do meristema apical protegido e revestido pela coifa colaborando para a raiz penetrar o solo (HODGE et al., 2009). A absorção de água para o interior das células gera uma pressão de turgor, permitindo o alongamento e conseqüentemente, o crescimento da raiz (CLARK et al., 2003). A distribuição do sistema radicular do milho pode variar por uma ampla gama de parâmetros fisiológicos que determinam o crescimento das raízes e a arquitetura, assim como os parâmetros relacionados com o solo, tais como: resistência, densidade, estrutura, teor de água e temperatura, além de fatores externos, como temperatura do ar, precipitação pluvial e fornecimento de nutrientes (KUCHENBUCH et al., 2009).

Sabe-se que a absorção de nutrientes está intimamente relacionada com indicadores de qualidade do solo, sendo que eles podem ser manejados para fornecer condições favoráveis ao crescimento das plantas e posterior capacidade de resistir ao estresse ambiental (BATHKE, 1992). Segundo Moura et al. (2009) a absorção de N e K pelas culturas está intimamente relacionada com as condições de enraizabilidade dentro do perfil do solo.

A alta resistência do solo à penetração das raízes é a propriedade física que mais influencia na redução do comprimento e maior espessura das raízes, refletindo em menor produtividade de matéria seca da parte aérea e de grãos. Ademais, inadequado suprimento de água e nutrientes à parte aérea indica o grau de compactação do solo que está relacionado com suas características e uso (STRECK et al., 2004).

A dificuldade da raiz penetrar o solo varia conforme a espécie (CLARCK et al., 2003). As raízes de maior diâmetro podem superar uma camada coesa e resistir à deformação, influenciando na quantidade de água que pode ser extraída do solo. Ley et al. (1995) verificaram que o crescimento radicular foi limitado quando os solos atingiram potencial matricial em torno de -100 kPa com valores da resistência à penetração próxima ou superiores a 2 MPa. Bengough e Mullins (1990) relataram que a maioria das culturas podem ter seu funcionamento e crescimento da parte aérea comprometido quando a resistência à penetração se aproxima de 2 MPa.

A ausência da matéria orgânica e umidade insuficiente podem levar a modificações na estrutura do solo, o que pode restringir o crescimento radicular, limitando o movimento da água e do ar ao longo do perfil, o que altera a distribuição de umidade e, assim, diminui a

absorção de nutrientes, que por sua vez acarretam uma série de problemas diretos e indiretos ao desenvolvimento e crescimento das plantas (OLIVEIRA, 2011).

De acordo com Kay (2006), ao avaliar o desenvolvimento do milho e absorção de nutrientes, verificou que a umidade do solo aumentou o sistema radicular, e também a quantidade total de P nas folhas, refletindo a acessibilidade desse nutriente no solo.

2.9 - A absorção e a remobilização do Nitrogênio

O N promove o acúmulo de matéria seca da planta, principalmente quando os estoques no solo são suficientes para a nutrição da planta e quando este nutriente está em quantidades equilibradas com o P (HUMBLE et al., 2007).

Para a produtividade de uma tonelada de grãos de milho, a planta necessita absorver aproximadamente 21 kg ha⁻¹ de N (COELHO & FRANÇA, 1995), sendo que cerca de 75% da quantidade absorvida são exportadas pela colheita dos grãos. Dordas & Sioulas (2008), observaram que o conteúdo de N nos tecidos vegetais diminuiu quando a planta passou da antese para a fase de maturação e indicou que houve remobilização de N dos tecidos vegetais para as sementes.

A remobilização do N é um importante mecanismo que ocorre durante o desenvolvimento da planta e pode ser aumentado em condições de estresse após o período de crescimento vegetativo. Os sintomas de deficiência nas folhas durante a formação dos grãos indicam a remobilização do N (MARSCHNER, 1995).

Segundo Yang e Zhang (2010), para que haja remobilização dos nutrientes assimilados e estocados nos tecidos para os grãos, a planta deve iniciar o processo de senescência. Desta forma, uma das causas da diminuição do enchimento dos grãos de gramíneas é a senescência tardia das plantas, causada por utilização excessiva de fertilizantes nitrogenados (PENG et al., 2006), cultivares apresentaram longo estágio vegetativo (YUAN, 1998) e introdução de espécies híbridas (YANG et al., 2002).

As condições ambientais também influenciam a remobilização de nutrientes, desta forma, plantas estressadas tendem a investir na produção de grãos, o que compromete a produção de massa de matéria seca e eficiência da fotossíntese em plantas estressadas. Bancal (2009) concluiu que o N remobilizado foi positivamente correlacionado com o teor de N na antese e negativamente correlacionado com o N absorvido após antese.

2.10 - Eficiência do Uso de Nutrientes pelas Plantas

O manejo da fertilidade do solo visa basicamente elevar o nível da produção, obter produtos com alta qualidade, melhorar e manter a fertilidade do solo, conservar a qualidade ambiental e ajudar a manejar o carbono orgânico do solo. Neste aspecto, a interação entre nutrientes precisa ser compreendida, pois a melhoria do aproveitamento de um nutriente pode conduzir o aumento das perdas de outro nutriente (DELGADO & LEMUNYON, 2006). Assim sendo, a eficiência do uso dos nutrientes integra a conservação do solo e da água, o equilíbrio nutricional, o enraizamento e o sincronismo entre demanda e necessidade das plantas. Entretanto, na maioria das vezes, a quantidade de nutriente aplicado não é completamente utilizada resultando em baixa eficiência do uso e posterior poluição das águas subterrâneas.

Na periferia da Amazônia Maranhense dois fatores reduzem a eficiência de uso dos nutrientes nos solos: 1) coesão das partículas finas em solos com baixos teores de carbono e ferro livre, o que reduz a enraizabilidade do solo e prejudica a absorção dos nutrientes; e 2) a alta taxa de remoção de nutrientes no perfil, devida à intensa lixiviação e à baixa capacidade de retenção dos cátions. Desta forma, é comum observar baixa eficiência na utilização de nutrientes inorgânicos com destaque para o N e o K pela elevada mobilidade no perfil do solo, o que pode comprometer a sua disponibilização aos vegetais em regiões com elevada precipitação pluvial (AGUIAR et al. 2010) .

A lixiviação e a desnitrificação são os principais processos envolvidos na perda de N. Na lixiviação, a perda de N na forma de nitrato (NO_3^-) decorre da predominância de cargas negativas na camada superficial do solo e da baixa interação química do NO_3^- com os minerais do solo. Entretanto, na forma de amônio (N-NH_4^+) a lixiviação é reduzida pela adsorção deste cátion no complexo de cargas negativas do solo. Os fatores que influenciam a lixiviação de N estão relacionados com manejo inadequado do solo, tais como: fontes e forma de aplicação, tipo do solo e precipitação pluvial (XU et al., 2010) determinando o nível da eficiência de N aplicado.

A desnitrificação é o processo pelo qual o nitrato (NO_3^-) e o nitrito (NO_2^-) passam para as formas gasosas como óxido nítrico (NO), óxido nitroso (N_2O) ou nitrogênio atmosférico (N_2) mediado por bactérias em condições anóxicas. Nos trópicos úmidos esse processo está presente nos períodos de maior precipitação pluvial, principalmente em solos de baixa condutividade hidráulica (MOURA et al., 2008).

Inibidores da nitrificação têm sido propostos como uma maneira de prolongar o nitrogênio amoniacal no solo e melhorar a eficiência do uso de fertilizantes nitrogenados por coincidir a demanda da planta com o N disponível e, desta forma, minimizar a lixiviação de N no solo (ZAMAN et al., 2008). À medida que diminui a nitrificação, o N fica retido na forma de amônio por mais tempo no solo e pode ser absorvido pelas raízes, além de reduzir o risco de lixiviação. Vale salientar que o milho absorve o N tanto na forma nítrica como na forma amoniacal, embora a assimilação de amônio requeira menos energia do que a de nitrato.

As maiores perdas de nutrientes por lixiviação podem ocorrer na fase inicial de crescimento do milho, quando as raízes ainda não ocupam um volume de solo suficiente para interceptar os nutrientes. Quando há maior enraizamento, aumenta-se a possibilidade de recuperar os nutrientes lixiviados, como o N e o K. Sitthaphanit et al. (2009) avaliaram a eficácia de N, P e K em solos arenosos sob elevado regime de chuvas e concluíram que o parcelamento da adubação em 0, 30 e 45 dias após a germinação do milho é uma estratégia que proporcionou uma redução de 60, 75 e 50% das perdas por lixiviação de N, P e K, respectivamente. Além disso, aumentou a absorção e recuperação desses nutrientes, o que resultou em maior rendimento do milho.

Segundo Constatin et al. (2010), o cultivo intercalado é uma técnica adequada para reduzir a lixiviação de N em até 26% sob plantio direto. No entanto, essa resposta é altamente variável, dependendo do clima, local e tipo de cultura. O uso da adubação potássica em solos com baixo teor de argila e pequeno poder tampão, no qual o K^+ não interage fortemente com a matriz, promove aumento da concentração de K, sendo posteriormente lixiviado pela água da chuva (JALALI et al. 2008).

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Área Experimental

O experimento foi realizado no Campo Experimental do Núcleo Tecnológico de Engenharia Rural do Curso de Agronomia da Universidade Estadual do Maranhão, no interior da Ilha de São Luís – MA, situado na região do meio-norte brasileiro, entre a Amazônia úmida e o Nordeste seco, a 44° 18'W de longitude e 2° 30'S de latitude. A temperatura local média é de aproximadamente 26 °C, e as médias máximas e mínimas oscilam entre 28-33 e 20-23 °C, respectivamente. O clima da região na classificação de Köppen é do tipo Aw, equatorial quente e úmido. As precipitações pluviárias variam de 1700 a 2300 mm anuais, dos quais mais de 80% ocorrem de janeiro a maio. A precipitação pluviária ocorrida em São Luís, no período de novembro de 2010 a julho de 2011 (período de instalação e condução do experimento) está apresentada na Figura 1.

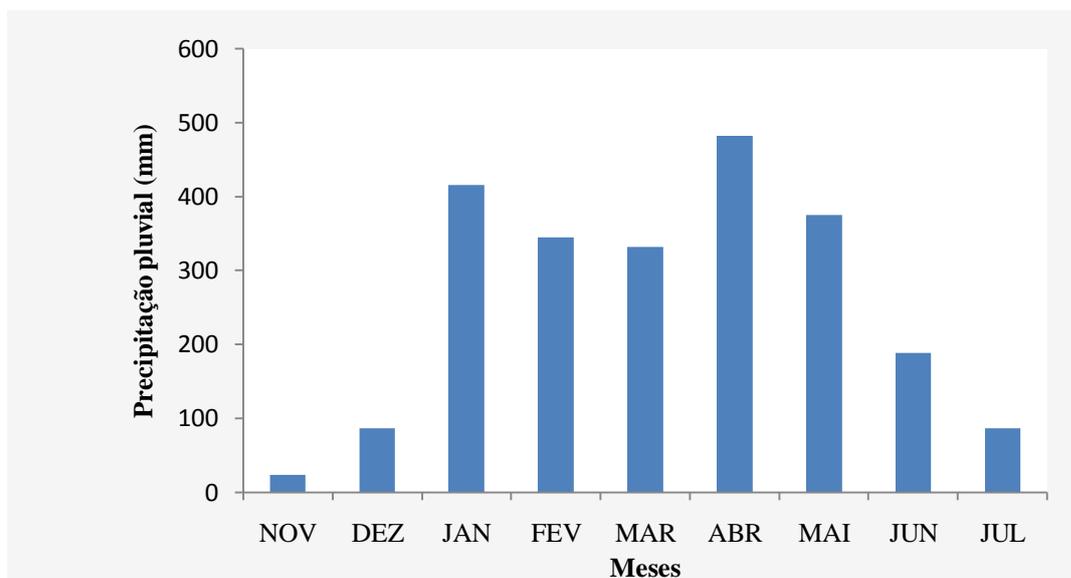


Figura 1. Precipitação pluviária durante a instalação e condução do experimento

3.2 – Delineamento Experimental e Tratamentos

A área experimental consistiu de 24 parcelas de 4 m x 8 m, totalizando 768 m². Cada parcela experimental foi constituída de 32 plantas de milho distribuídas em 5 fileiras, cujo espaçamento utilizado foi de 0,8 m entre fileiras e 0,25 m entre plantas. A área útil de cada parcela foi constituída pelas 3 fileiras centrais descartando-se 1 m nas extremidades de cada

uma dessas 3 fileiras que, juntamente com as 2 fileiras descartadas das laterais da parcela experimental, constituiu a bordadura. Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. O experimento foi constituído de seis tratamentos:

Tratamento 1: gesso (12 t ha^{-1}) + leguminosas (sombreiro e leucena) + uréia (90 kg ha^{-1} de N) + cloreto de potássio (80 kg ha^{-1} de K_2O) = **Gesso (12 t ha^{-1})+leg+U+KCl**;

Tratamento 2: gesso (6 t ha^{-1}) + leguminosas (sombreiro e leucena) + uréia (90 kg ha^{-1} de N) + cloreto de potássio (80 kg ha^{-1} de K_2O) = **Gesso (6 t ha^{-1})+leg+U+KCl**;

Tratamento 3: gesso (6 t ha^{-1}) + leguminosas (sombreiro e leucena) = **gesso (6 t ha^{-1})+leguminosas**;

Tratamento 4: gesso (6 t ha^{-1}) + uréia (90 kg ha^{-1} de N) + cloreto de potássio (80 kg ha^{-1} de K_2O) = **gesso (6 t ha^{-1}) + U+KCl**;

Tratamento 5: leguminosas (sombreiro e leucena) = **leguminosas**;

Tratamento 6: controle = **controle**.

3.3 – Instalação e Condução do Experimento

Antes da instalação do experimento foi realizada a limpeza da área experimental (roçagem e destocagem) e efetuada uma aplicação de glifosato (3 L ha^{-1}) em toda área do experimento.

Antes da calagem, amostras de solo foram coletadas em 10 pontos, em “zigue-zague”, em toda extensão da área do experimento para constituírem 4 amostras compostas de cada profundidade (0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm), totalizando 16 amostras compostas. Nessas amostras, determinaram-se o pH em CaCl_2 , a acidez potencial (H+Al) e os teores de matéria orgânica, P, K, Ca e Mg, segundo metodologia do IAC (2001). O solo da área foi classificado como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico arênico coeso (EMBRAPA, 2006), com as características físicas e químicas apresentadas na Tabela 1.

A calagem foi realizada com aplicação superficial de cal hidratada na dosagem de 2 t ha^{-1} , distribuídas uniformemente em toda área experimental, aproximadamente quinze dias antes da semeadura do milho.

Nas parcelas predeterminadas para receberem o gesso, a aplicação foi realizada na mesma ocasião da calagem e a distribuição foi efetuada a lanço. Foram coletadas amostras do gesso e da cal hidratada para análises químicas e seus valores estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 1 – Caracterização física e química do solo da área experimental

Análise química do solo									
Profundidades	pH	P	H + Al	K	Ca	Mg	SB	M.O.	V
(cm)	(CaCl ₂)	(mg dm ⁻³)	----- (mmol _c dm ⁻³) -----					(g dm ⁻³)	%
0 - 5	4,6	6,8	28,2	1,8	24,2	5,0	31,0	31,2	52,3
5 - 10	4,3	4,2	27,5	1,2	12,2	3,7	17,2	18,2	38,4
10 - 15	4,1	3,8	29,0	1,1	8,7	1,5	11,4	14,2	28,2
15 - 20	4,0	3,9	28,7	0,7	7,2	1,7	9,7	12,4	25,2

Análise física do solo					
Profundidades	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Silte/Argila
(cm)	----- % -----				
0-5	40	47	5	8	0,63
5-10	35	51	6	8	0,75
10-15	37	49	5	9	0,34
15-20	36	48	6	9	0,08

Tabela 2. Análise química da cal hidratada e do gesso mineral utilizados no experimento

Corretivos	PN	PRNT	CaO	MgO	CaO + MgO
	----- % -----		----- g/100g -----		
Cal Hidratada (CaCO ₃)	123,8	124,0	40,4	22,8	63,2
Gesso Mineral (CaSO ₄)	6,5	6,6	25,4	1,3	26,7

O milho utilizado no experimento foi o híbrido AG 7088. A do milho foi realizada no dia 14 de fevereiro de 2011, com semeadora manual do tipo “matraca”, adaptada para plantio direto. A adubação mineral realizada na semeadura foi à base de 40 kg ha⁻¹ de N (uréia), 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato triplo), 40 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio) e 5 kg ha⁻¹ de Zn (sulfato de zinco). O fósforo e o zinco foram aplicados em toda área experimental. A aplicação de leguminosas (leucena e sombreiro) foi realizada com uma semana após a emergência do milho, distribuídas superficialmente nas quantidades de 20 kg de matéria fresca de cada leguminosa por parcela (6,25 t ha⁻¹ de cada leguminosa). A adubação de cobertura foi realizada no período de desenvolvimento vegetativo V₆ da cultura do milho correspondente ao sexto par de folhas completamente abertas, nas quantidades de 50 kg ha⁻¹

de N (na forma de uréia) e 40 kg ha⁻¹ de K₂O (na forma de cloreto de potássio). A aplicação das leguminosas em cobertura foi realizada quatro dias antes da adubação mineral, na proporção de 20 kg de matéria fresca de leucena (6,25 t ha⁻¹) e 10 kg de matéria fresca de sombreiro por parcela (3,12 t ha⁻¹). O total de matéria seca das leguminosas aplicadas correspondeu a 6.550 kg ha⁻¹.

3.4 - Parâmetros Avaliados

A produção de matéria seca do milho, no período da antese, foi determinada por meio da massa média da parte aérea de três plantas de milho, depois de secas em estufa a 60 °C, colhidas aleatoriamente dentro da área útil de cada parcela. Nessas plantas de milho foram avaliados os teores de N total contidos na parte aérea, pelo método descrito em Tedesco (1995).

Para determinação do índice de área foliar (IAF), a área foliar foi calculada utilizando a fórmula $0,75 \times \text{comprimento} \times \text{largura}$ (MONTGOMERY, 1911), a partir das medidas biométricas da folha maior de três plantas mais representativas da parcela. Para aumentar a eficiência da coleta dos dados, foi utilizada somente a área da maior folha a qual foi multiplicada por um fator obtido pela relação entre a área da folha maior e a área foliar total da planta. O IAF foi estimado a partir do cálculo de densidade de plantas por hectare.

A amostragem das raízes de milho foi realizada no estágio de pendoamento para aproveitar o período de máxima densidade radicular do milho (MENGEL e BARBER, 1974). A coleta das amostras de raízes para determinar a densidade de comprimento radicular (DCR) foi realizada com um trado manual tipo caneca de base serrilhada de 5,4 cm de diâmetro e com volume de 196,25 cm³. As amostras foram coletadas em pontos entre duas plantas de cada linha de milho, com três repetições dentro da área útil de cada parcela experimental. Em todas as parcelas foram coletadas amostras nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm. Para o preparo de tais amostras utilizou-se uma peneira de 2 mm e outra de 1 mm conjugadas, segundo Böhm (1976). O solo foi separado das raízes por jatos d'água para posterior separação das impurezas, sendo que a perda de raízes foi irrelevante. Imediatamente após limpeza, as raízes foram armazenadas e conservadas à temperatura de -12 °C. Procedeu-se a contagem manual utilizando o método da intersecção de Newman (1966) modificado por Tennant (1975). O método consiste em distribuir as raízes obtidas de cada volume de solo em placas de Petri, dividida em quadriculas de 1 x 1 cm. Cada raiz que interceptou uma linha foi

computada e, para isso, foi utilizada contagem manual. O total acumulado foi convertido para densidade do comprimento radicular (DCR), usando a seguinte equação:

$$DCR = \frac{(11/14) \times N \times U}{V_t}$$

Em que DCR = densidade de comprimento radicular (cm cm^{-3}); N = número de intercepções; U = unidade do quadriculado (cm); V_t = volume do trado (cm^3).

Para a determinação da produção de matéria seca da parte aérea das plantas de milho na fase de maturação, foram coletadas três plantas da área útil de cada parcela experimental após a colheita do milho. Essas plantas foram secas em estufa a 60 °C e, depois, determinou-se a massa média. Nessas plantas também foram analisados os teores de N total na parte aérea, pelo método descrito em Tedesco (1995).

Na maturação, foi realizada a colheita do milho de 45 plantas dentro da área útil de cada parcela e, a seguir, determinou-se os seguintes atributos: espigas/planta, peso médio de 100 grãos e produção de grãos (Mg ha^{-1}).

A análise de densidade de frequência foi realizada escolhendo aleatoriamente cem grãos de cada tratamento, os quais foram pesados em balança analítica (modelo AY220 com precisão de 0,0001). Os grãos foram separados em categorias ou classes de 1 a 10 de acordo com o peso individual que variou de 0,14 a 0,37 g. Posteriormente foi contabilizada a frequência de grãos.

Amostras de solo foram coletadas no final do período experimental, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm, com três repetições por parcela, em cada profundidade. Cada amostra composta foi originada de três subamostras coletadas em três pontos: o 1º ponto na linha do milho, o 2º ponto equidistante entre as fileiras de milho e o 3º, em um ponto médio entre o 1º e o 2º ponto, dentro da área útil de cada parcela. Nessas amostras determinaram-se o pH em CaCl_2 , a acidez potencial (H + Al) e os teores de matéria orgânica, P, K, Ca e Mg, segundo metodologia do IAC (2001).

De posse dos resultados das análises, foram calculadas a capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (CTC a pH 7,0) pela fórmula: $\text{CTC a pH 7,0} = [\text{SB} + (\text{H} + \text{Al})]$, onde $\text{SB} = \text{Ca} + \text{Mg} + \text{K}$, e a saturação por bases (V) do solo pela fórmula: $V = (\text{SB}/\text{CTC a pH 7,0}) \times 100$.

Os índices de eficiência e remobilização de N foram calculados utilizando-se as seguintes fórmulas:

$$\text{a) } NR = ENA - ENM$$

Onde: NR = nitrogênio remobilizado (Mg ha^{-1}); ENA = estoque de N das folhas e colmo na antese e ENM = estoque de N das folhas e colmo na maturação.

$$b) IC = \frac{MSG}{MSG+MSFC}$$

Onde: IC = índice de colheita; MSG = massa de matéria seca dos grãos e MSFC = massa de matéria seca das folhas e colmo.

$$c) ERN = \frac{NPF-NC}{NA} \times 100$$

Onde: ERN = eficiência de recuperação de nitrogênio (%); NPF = conteúdo de N nas folhas, colmo e grãos das plantas fertilizadas; NC = conteúdo de N nas folhas e colmo do controle e NA = quantidade de N aplicado.

$$d) EAN = \frac{PPF-PC}{NA}$$

Onde: EAN = eficiência agrônômica de nitrogênio (kg kg^{-1}); PPF = produção de grãos das plantas fertilizadas; PC = produção de grãos do controle e NA = quantidade de N aplicado.

$$e) FPN = \frac{PG}{NA}$$

Onde: FPN = fator parcial de produtividade de N aplicado (kg kg^{-1}); PG = produção de grãos e NA = quantidade de N aplicado.

3.5 – Análises Estatísticas

Os dados obtidos no experimento foram submetidos à análise de variância ANOVA pelos programas STATISTICA 8.0 e SAEG 9.1 e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Foi utilizado o programa SIGMAPLOT 11.0 para construção dos gráficos.

4 – Resultados e Discussão

A camada mais superficial (Tabela 3) apresentou os maiores teores de matéria orgânica (MO), de nutrientes, soma de bases (SB) e capacidade de troca de cátions (CTC) mais elevada em relação às camadas subsuperficiais, uma vez que tanto a adubação orgânica quanto a adubação mineral foram realizadas superficialmente sem incorporação. Em razão disso, a camada superficial do solo (0-5 cm) concentrou as melhores condições edáficas para o desenvolvimento das plantas de milho. Possivelmente, nessa camada superficial (0-5 cm) ocorreu considerável sinergia entre os indicadores químicos, físicos e biológicos do solo, favorecendo o ambiente radicular. A MO não diferiu entre os tratamentos em nenhuma das camadas estudadas.

Em todas as profundidades (Tabela 3) observou-se que os tratamentos em que se utilizou o gesso, os teores de Ca atingiram valores superiores ao controle. Com isso, constatou-se que houve movimentação desse elemento ao longo do perfil do solo, como observado por Franchini et al. (1999). Para esses autores, o Ca, na sua forma complexada, teria sua carga líquida alterada pela formação de complexos de carga nula ou até negativa, o que favoreceria a sua lixiviação. A percolação do Ca também contribuiu para a SB atingir valores superiores ao controle nos tratamentos que continham gesso (camada 10-15 cm) e no tratamento em que duplicou-se a dosagem de gesso a SB diferiu do controle e dos demais tratamentos na camada de 10-15 cm. A SB, na camada de 15-20 cm, nos tratamentos com Gesso (6 t ha⁻¹) + Leg. e Gesso (6 t ha⁻¹) + U + KCl apresentou diferenças significativas em relação ao controle e demais tratamentos.

Quanto ao Mg trocável, todos os tratamentos com uso do gesso diferiram do controle e do tratamento Leguminosas em todas as camadas, exceto o tratamento com Gesso (6 t ha⁻¹) + Leg + U + KCl que não diferiu do controle na camada de 0-5 cm. Isto se deve ao fato da movimentação do Mg ocasionada pela formação de par iônico com o SO₄²⁻ disponibilizado pelo gesso. Zambrosi et al. (2007) verificaram que o ânion inorgânico que mais se ligou ao Mg foi o S-SO₄²⁻, o que explica porque a aplicação de gesso favorece a lixiviação de Mg (ROSOLEM & MACHADO, 1984). Caires et al. (2003) observaram que a aplicação de gesso aumentou os teores de Ca trocável do solo nas cinco profundidades estudadas (0-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm), independentemente dos tratamentos de calagem. Esses autores verificaram também que as doses de gesso agrícola aplicadas na superfície aumentaram linearmente a relação Ca/Mg do solo, sendo esse aumento favorecido tanto pela elevação do

teor de Ca trocável como também pela redução do teor de Mg trocável decorrente de sua movimentação com o sulfato no perfil do solo. No presente estudo, os teores de Mg no solo reduziram com as doses de gesso em todas as profundidades e o cátion Mg^{2+} foi movimentado para camadas abaixo de 20 cm.

Quanto aos teores de K trocável, os tratamentos que utilizaram leguminosas apresentaram diferenças significativas em comparação com o controle na camada de 0-5 cm (Tabela 3). Isso sugere que a cobertura do solo com leguminosas foi importante para o aporte nos teores de K disponibilizado superficialmente no solo pela decomposição das leguminosas. Os teores de K nos tratamentos com Gesso (12 t ha^{-1}) + Leg + U + KCl e Gesso (6 t ha^{-1}) + Leguminosas, na camada de 5-10 cm, foram superiores ao controle, mas não se pode inferir que o gesso tenha contribuído para isso, tendo em vista que os outros tratamentos que também utilizaram gesso não diferiram do controle nessa mesma camada de solo. Nas camadas de 10-15 e 15-20 cm, os teores de K não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. Em trabalhos como o de Caires et al. (2001), no caso do K trocável seus teores não foram influenciados significativamente pela calagem na superfície, e a movimentação do nutriente proporcionada pela aplicação de gesso foi extremamente menor que a de Mg. Embora a lixiviação do K trocável pelo uso de gesso possa ocorrer em função do tipo de solo (SUMNER, 1995; SOUSA & RITCHEY, 1986), essa movimentação tem sido muito pequena em sistema de plantio direto (CAIRES et al., 1998).

O pH do solo (Tabela 3) não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos em nenhuma das camadas estudadas. Embora tenha ocorrido percolação de bases no perfil do solo, não ocorreram diferenças significativas entre o controle e os demais tratamentos no que se refere aos valores do pH e $H+Al$ nas camadas subjacentes do solo.

Os teores de fósforo (P) (Tabela 3) foram alterados em função dos tratamentos em todas as profundidades e apresentaram teores de P superiores ao controle. Em consequência da presença de leguminosas nos tratamentos, o P apresentou os maiores teores na camada de 10-15 cm, em todos os tratamentos com leguminosas em relação ao controle. Isso sugere que a cobertura do solo e as substâncias liberadas gradativamente provenientes da decomposição das leguminosas tiveram influência na disponibilidade do P nessa camada de solo.

A densidade de comprimento radicular (DCR) diminuiu com o aumento da profundidade em todos os tratamentos (Figura 2) e foi observado, na profundidade de 0-10 cm, que os tratamentos Gesso (6 t ha^{-1})+Leguminosas e Leguminosas proporcionaram maior crescimento radicular em relação ao Controle. Esse comportamento evidencia que a cobertura morta ao diminuir a evaporação, retarda o processo de secamento e endurecimento do solo

Tabela 3. Características químicas do solo após colheita do experimento em 2011

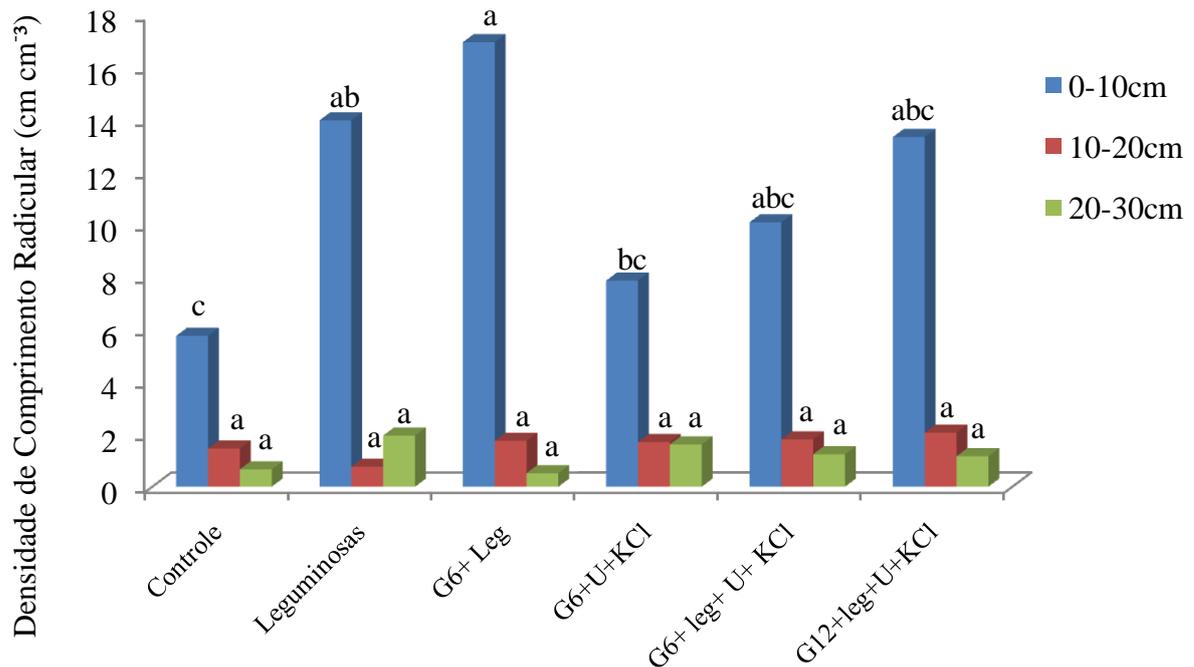
0-5 cm	Tratamentos				Leguminosas	Controle	CV (%)
	G (12 t ha ⁻¹) +Leg+U+KCl	G (6 t ha ⁻¹) +Leg+U+KCl	G (6 t ha ⁻¹) +Leg	G (6 t ha ⁻¹) +U+KCl			
M.O. (g dm ⁻³)	42,0 a	42,7 a	38 a	37,5 a	41,0 a	29,5 a	17,4
Ca (mmol _c dm ⁻³)	87,0 b	99,7 a	97,7 a	71,7 ab	71,5 ab	62,7 b	18,57
Mg (mmol _c dm ⁻³)	4,2 de	7,5 bc	6,7 cd	2,5 e	12,0 a	10,0 ab	18,07
K (mmol _c dm ⁻³)	0,8 b	1,1 a	0,8 b	0,5 cd	0,6 bc	0,3 d	14,65
P (mg dm ⁻³)	17,8 ab	14,9 ab	11,9 bc	14,7 ab	18,2 a	6,5 c	19,14
SB (mmol _c dm ⁻³)	92,0 ab	108,3 a	105,3 ab	74,7 ab	84,1 ab	73,0 b	17,08
H+Al (mmol _c dm ⁻³)	9,2 b	10,0 ab	9,7 b	10,5 ab	10,0 ab	12,7 a	12,1
CTC (mmol _c dm ⁻³)	100,8 a	120,5 a	117,4 a	85,5 a	95,8 a	85,1 a	18,71
pH (CaCl ₂)	6,8 a	6,9 a	7,0 a	6,5 a	6,4 a	6,2 a	5,6
V%	90,6 a	89,3 a	89,3 a	85,3 a	87,9 a	84,0 a	3,9
5-10 cm							
M.O. (g dm ⁻³)	19,7 a	19,0 a	20,0 a	18,5 a	20,0 a	17,5 a	17,8
Ca (mmol _c dm ⁻³)	26,5 a	28,2 a	29,0 a	27,0 a	23,7 ab	15,5 b	15,77
Mg (mmol _c dm ⁻³)	1,0 c	1,7 c	2,2 c	1,0 c	6,7 b	8,5 a	15,95
K (mmol _c dm ⁻³)	0,5 a	0,4 ab	0,5 a	0,3 ab	0,2 b	0,2 b	29,87
P (mg dm ⁻³)	15,2 a	7,5 c	11,0 b	5,2 c	7,7 c	6,0 c	13,49
SB (mmol _c dm ⁻³)	28,0 ab	30,4 a	31,7 a	28,3 ab	30,5 a	24,2 b	8,85
H+Al (mmol _c dm ⁻³)	18,5 a	13,7 a	15,0 a	16,5 a	16,5 a	16,2 a	18,5
CTC (mmol _c dm ⁻³)	61,1 a	59,4 a	61,4 a	49,3 a	53,8 a	39,7 a	39,95
pH (CaCl ₂)	5,4 a	6,0 a	5,9 a	5,6 a	5,6 a	5,6 a	6,9
V%	64,6 a	72,2 a	71,6 a	65,1 a	66,2 a	58,9 a	16,7
10-15 cm							
M.O. (g dm ⁻³)	15,0 a	15,2 a	16,0 a	15,0 a	14,7 a	13,7 a	14,4
Ca (mmol _c dm ⁻³)	16,7 a	11,3 b	11,0 b	11,7 b	7,2 bc	5,5 c	18,65
Mg (mmol _c dm ⁻³)	0,5 b	1,0 b	0,7 b	0,5 b	4,7 a	6,0 a	26,53
K (mmol _c dm ⁻³)	0,3 a	0,3 a	0,3 a	0,4 a	0,2 a	0,4 a	39,15
P (mg dm ⁻³)	8,0 a	10,2 a	9,2 a	6,0 ab	8,5 a	3,0 b	25,1
SB (mmol _c dm ⁻³)	17,5 a	12,5 b	12,0 b	12,6 b	12,2 b	11,9 b	10,62
H+Al (mmol _c dm ⁻³)	25,5 a	21,2 a	22,0 a	23,7 a	24,7 a	21,5 a	17,6
CTC (mmol _c dm ⁻³)	36,6 a	37,2 a	39,2 a	37,1 a	35,7 a	32,7 a	8,66
pH (CaCl ₂)	4,6 a	5,0 a	5,0 a	4,9 a	4,8 a	4,9 a	6,5
V%	34,1a	42,5 a	39,8 a	35,5 a	30,6 a	34,2 a	30,3
15-20 cm							
M.O. (g dm ⁻³)	11,7 a	13,5 a	12,1 a	13,9 a	11,7 a	14,2 a	9,4
Ca (mmol _c dm ⁻³)	10,5 a	7,5 ab	10,7 a	10,7 a	4,7 bc	3,5 c	18,57
Mg (mmol _c dm ⁻³)	0,5 c	0,5 c	0,5 c	0,5 c	1,7 b	4,2 a	32,59
K (mmol _c dm ⁻³)	0,3 ab	0,2 b	0,3 ab	0,5 a	0,4 ab	0,4 ab	20,41
P (mg dm ⁻³)	9,5 a	3,7 c	3,0 c	4,0 c	6,7 b	3,7 c	16,0
SB (mmol _c dm ⁻³)	11,3 ab	8,2 bc	11,5 a	11,7 a	6,9 c	8,1 bc	14,39
H+Al (mmol _c dm ⁻³)	25,5 a	26,2 a	25,5 a	29,5 a	29,0 a	24,5 a	11,4
CTC (mmol _c dm ⁻³)	35,0 a	35,6 a	35,6 a	39,5 a	35,5 a	32,1 a	10,49
pH (CaCl ₂)	4,5 b	4,8 a	4,7 a	4,5 b	4,5 b	4,7 a	14,0
V%	26,7 a	25,8 a	28,4 a	24,6 a	18,1 a	23,8 a	29,6

Médias seguidas pelas mesmas letras na mesma linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey (p<0,05).

nos períodos sem chuva, minimiza o efeito do grau de coesão pela manutenção da umidade do solo e promove maior enraizabilidade do solo, favorecendo a adaptação das plantas de milho ao ambiente pela maior exploração de água e nutrientes do solo (Sangakkara et al., 2004).

Nas profundidades de 10-20 e 20-30 cm (Figura 2) não houve diferenças significativas entre os tratamentos, e os valores de DCR foram relativamente inferiores em comparação à camada superficial, o que denota maior resistência à penetração das raízes de milho nessas profundidades. Segundo Souza et al. (2007), o desenvolvimento radicular em profundidade em solo coeso é mínimo, pois as raízes tendem a se desenvolver apenas nas fraturas existentes nas camadas coesas; além disso, ocorre redução no volume de solo explorado pelas raízes, em relação aos horizontes sobre e subjacentes. A ausência de resposta do sistema radicular do milho ao aumento do Ca trocável nas camadas do subsolo deve estar relacionada com os baixos valores de limite crítico do nutriente para o crescimento de raízes (CAIRES et al., 2004; RITCHEY et al., 1982). Adicionalmente, alterações promovidas pelo gesso nas camadas inferiores do solo requerem um período de tempo superior ao da duração do presente trabalho.

Não se pode inferir que somente o gesso tenha contribuído para que os tratamentos tenham atingido os maiores valores de DCR na profundidade de 0-10 cm (Figura 2) em comparação ao controle e às camadas subjacentes, tendo em vista que mesmo quando utilizou-se o dobro da dosagem de gesso (12 t ha^{-1}), não houve diferenças significativas em relação aos demais tratamentos que continham gesso. Assim, outros fatores contribuíram para o alcance dos maiores valores de DCR na camada superficial, como as bases disponibilizadas pelo calcário nessa camada, o que facilitou a correção da acidez do solo nessa profundidade; o carbono orgânico cujos teores foram superiores em relação às camadas subjacentes e os nutrientes disponibilizados gradativamente pela decomposição das leguminosas arbóreas, entre outros benefícios que poderão ter ocorrido e promovido melhorias no ambiente edáfico para as raízes do milho nessa camada de solo. Dessa forma, Caires et al. (2004), afirmaram que a aplicação de calcário na superfície, ao proporcionar maior correção da acidez nas camadas superficiais do solo (0-10cm), aumenta a concentração de raízes de milho nessas camadas e destacaram que tal efeito não foi observado quando a calagem na superfície foi acompanhada da aplicação de gesso.



G12+Leg+U+KCL = Gesso (12 t ha⁻¹) + Leguminosas + Uréia + Cloreto de Potássio

G6+Leg+U+KCL = Gesso (6 t ha⁻¹) + Leguminosas + Uréia + Cloreto de Potássio

G6+Leg = Gesso (6 t ha⁻¹) + Leguminosa

G6+U+KCL = Gesso (6 t ha⁻¹) + Uréia + Cloreto de Potássio

Figura 2. Densidade de crescimento radicular do milho sob diferentes tratamentos com uso de gesso, ramos de leguminosas arbóreas e fertilizantes minerais. Médias seguidas pelas mesmas letras na mesma profundidade não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A produção de matéria seca do milho acumulada até a antese, apresentou valores que variaram entre 11,08 t ha⁻¹ a 26,78 t ha⁻¹ (Figura 3). Os tratamentos com Gesso (12 t ha⁻¹) + Leg+U+KCl, Gesso (6 t ha⁻¹) + Leg+U+KCl e Leguminosas, proporcionaram maior produtividade de matéria seca acumulada até a antese do que o Controle que apresentou o menor valor (11,08 Mg ha⁻¹). Esses resultados demonstram que o gesso por si só não afetou a produção de matéria seca do milho na fase de floração. Assim sendo, o uso da adubação verde promoveu melhorias nas condições físicas e químicas do solo, além de estimular o desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea. Moura et al., (2009) verificaram que, para diferentes coberturas com leguminosas arbóreas como a leucena no trópico úmido, o melhor indicador físico que explicou as diferenças na produtividade do milho foi o dia de estresse hídrico, seguido da resistência à penetração. Mudanças nos indicadores físicos da qualidade do solo promovidas pela cobertura morta são muito importantes no cultivo do milho no trópico úmido.

A produção de matéria seca do milho na fase de maturação, nos tratamentos que continham a combinação de gesso com leguminosas e fertilizantes minerais foi afetada, de maneira que os valores diferiram do Controle e do tratamento Gesso (6 Mg ha⁻¹)+U+KCl (Figura 3). Isso reforça a importância da cobertura do solo e a combinação de gesso com fertilizantes e leguminosas pode ter promovido um melhor aproveitamento dos nutrientes pelas plantas de milho, provenientes da adubação e dos nutrientes disponibilizados pelas leguminosas.

As médias do índice de área foliar (IAF) variaram de 1,84 a 2,74 (Figura 4). Os tratamentos com Gesso (6 t ha⁻¹)+Leg+U+KCl e Leguminosas diferiram estatisticamente do Controle mas não apresentaram diferenças significativas entre os demais tratamentos. Isso sugere que o uso de cobertura do solo com leguminosas foi mais importante que o uso do gesso tanto para a produção de matéria seca quanto para o índice de área foliar.

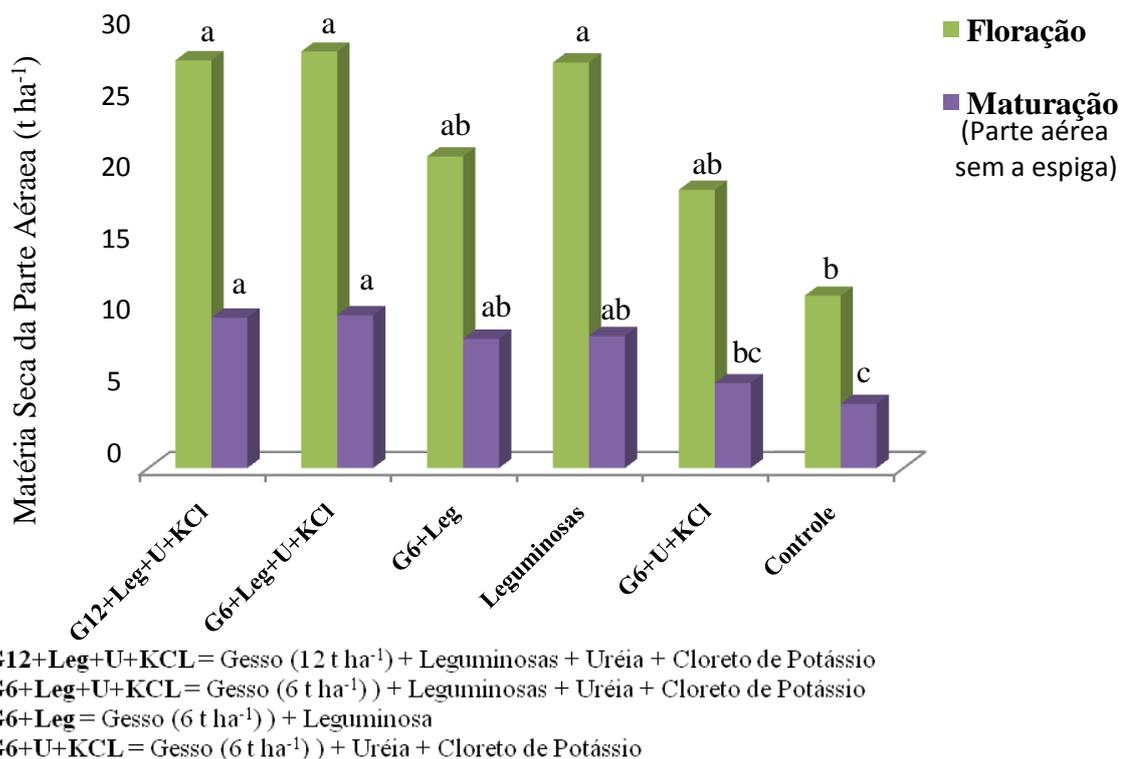


Figura 3. Matéria seca da parte aérea nas fases de floração e maturação (caule e folhas sem a espiga) do milho sob diferentes tratamentos com uso de gesso, ramos de leguminosas arbóreas e fertilizantes minerais. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

As diferenças significativas encontradas entre os tratamentos com uso de solo coberto com leguminosas e o Controle foram observadas tanto no índice de área foliar quanto na produção de matéria seca. Estes resultados indicam que as plantas no tratamento com leguminosas possuíam maior capacidade de assimilar carbono devido ao seu potencial fotossintético, e que os carboidratos foram utilizados para o desenvolvimento dos referidos parâmetros. Um outro fato que também pode ter contribuído para isso, foi a sincronia entre a liberação de nutrientes pelas leguminosas com período de maior requerimento pelas plantas de milho (MENDONÇA & STOTT 2003; MOURA et al., 2010). Em contraste, a falta de assimilados fotossintéticos nos tratamentos cujos resultados não diferiram estatisticamente do Controle, prejudicou o desenvolvimento das plantas.

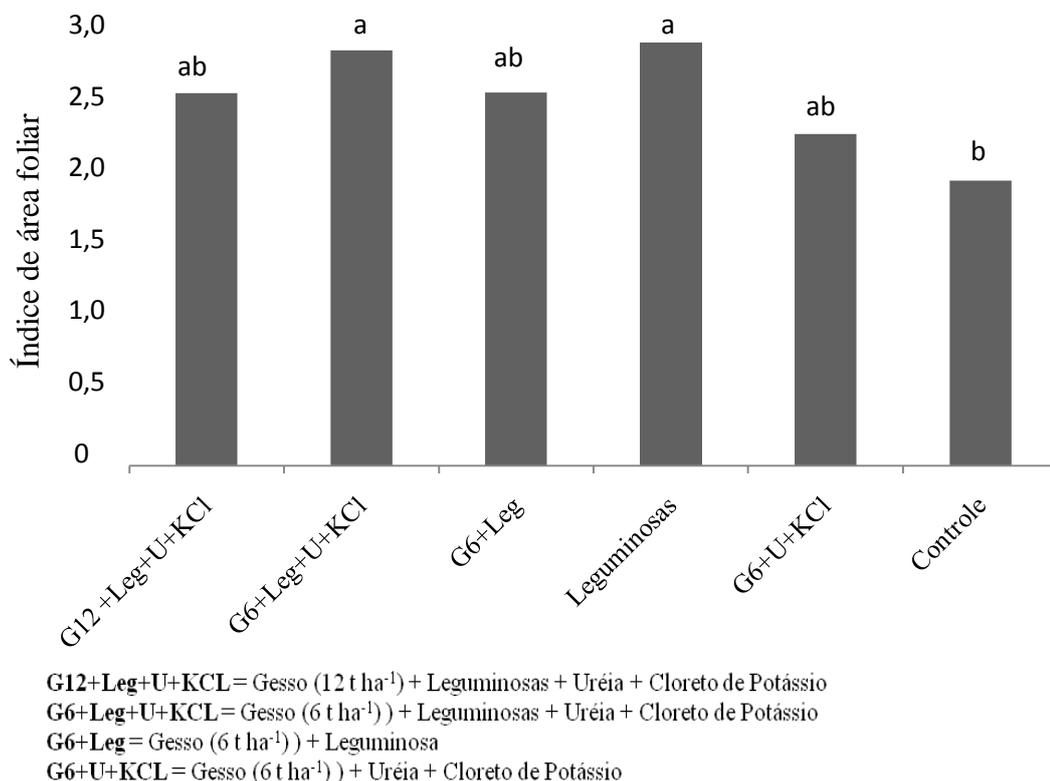


Figura 4. Índice de área foliar do milho sob diferentes tratamentos com uso de gesso, ramos de leguminosas arbóreas e fertilizantes minerais. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Quanto ao número de espigas/planta os tratamentos não diferiram estatisticamente entre si, embora o tratamento com Gesso (6 t ha⁻¹)+U+KCl e Controle apresentaram número de espigas/planta (0,98 e 0,94, respectivamente) inferiores aos demais tratamentos (Tabela 4). Na condição de solo descoberto, as plantas ficam sujeitas aos dias de estresse hídrico que

ocorrem no período de desenvolvimento da cultura do milho e às demais consequências decorrentes da vulnerabilidade do solo a fatores como lixiviação de nutrientes e coesão. Leguminosas arbóreas de lenta decomposição podem ser utilizadas em cobertura, o que diminui o estresse causado pela perda excessiva de umidade do solo e difíceis condições de enraizabilidade (AGUIAR et al., 2010).

O baixo peso dos grãos e baixos valores do fator de produtividade parcial observados no controle (Tabela 4) indicam que estes fatores podem estar relacionados com o acúmulo de massa de matéria seca tanto no período até a antese quanto no acúmulo pós-antese (Figura 3). Yang e Zhang (2006) reportam que a remobilização das reservas para os grãos é crítica para a produtividade se as plantas estão sujeitas a dias de estresse hídrico ou se a produtividade é baseada em forte acumulação de biomassa.

Os tratamentos que receberam ramos de leguminosas arbóreas apresentaram as maiores produtividades de grãos em relação ao Controle (Tabela 4). Leite et al. (2008), ao pesquisarem duas cultivares de milho híbrido, concluíram que o peso de mil grãos foi o fator de maior contribuição para as diferenças na produtividade de grãos, sendo favorecida pelas adições de resíduos de leguminosas arbóreas. Resultados encontrados por Moura et al., (2010) ao combinarem vários tratamentos com leguminosas arbóreas, observaram que o rendimento de grãos foi significativamente diferente entre os tratamentos e a maior produtividade foi obtida com mistura de resíduos de leucena com acácia e leucena com sombreiro.

Os parâmetros de produtividade (Tabela 4) demonstraram que o uso do gesso não foi suficiente para promover diferenças significativas entre os tratamentos, tendo em vista que o tratamento com Gesso (6 t ha^{-1})+U+KCl não diferiu do Controle e com isso se pode inferir mais uma vez que a cobertura do solo com leguminosas arbóreas foi mais importante que o uso do gesso. Leite et al. (2008), ao compararem solo coberto com resíduos de leguminosas arbóreas com solo descoberto, concluíram que na predominância da fração areia fina e com elevada precipitação pluvial, a porosidade efetiva do solo foi diminuída, sendo este o principal fator determinante do decréscimo da produtividade do milho.

Quanto ao Controle, este apresentou frequência com classes de pesos inferiores (0,14 a 0,29g) em comparação com os demais tratamentos (Figura 5). Isto sugere que a falta de nutrientes disponíveis no solo interferiu na remobilização de nutrientes da planta para o enchimento dos grãos e no peso destes. Masoni et al. (2007) inferiram que a acumulação pré-antese de matéria seca, N e o P no milho fertilizado com uréia e superfosfato, contribuiu para o enchimento dos grãos e a origem das reservas foram do colmo, folhas e das raízes da planta.

Os tratamentos com Gesso (6 t ha^{-1})+Leguminosas e Leguminosas (Figura 5) apresentaram picos percentuais de classes de pesos intermediários entre o Controle e os demais tratamentos (0,22 a 0,24g) (Figura 5). Com isso, conclui-se que o peso superior de grãos nos referidos tratamentos em relação ao Controle reflete uma certa vantagem do uso de leguminosas e que o gesso por si só não surtiu efeito considerável sobre o peso de grãos.

Tabela 4 – Parâmetros de produtividade do milho em relação a diferentes tratamentos com uso do gesso, leguminosas arbóreas e fertilizantes minerais

Tratamentos	Nº de Espigas/planta	Peso de 100 grãos (g)	Produtividade de grãos (t ha^{-1})
Gesso (12 t ha^{-1})+Leg+U+KCl	1,04 a	25,03 a	6,37 a
Gesso (6 t ha^{-1})+Leg+U+KCl	1,09 a	25,64 a	6,62 a
Gesso (6 t ha^{-1})+Leguminosas	1,02 a	23,27 a	5,25 ab
Leguminosas	1,15 a	23,33 a	6,38 a
Gesso (6 t ha^{-1})+U+KCl	0,98 a	23,26 a	4,43 bc
Controle	0,94 a	20,27 b	2,80 c
CV (%)	10,13	4,73	13,67

Médias seguidas pelas mesmas letras na mesma coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

As combinações de gesso, leguminosas e fertilizantes minerais apresentaram os picos de frequência deslocados para as classes de pesos mais elevados, com destaque para o tratamento Gesso (12 t ha^{-1})+Leg+U+KCl (Figura 5), que atingiu o mais alto pico de frequência de peso. Tal fato evidenciou que as plantas pertencentes a estes tratamentos foram mais eficientes na remobilização de nutrientes para os grãos cujos efeitos contribuíram para o aumento de peso de grãos.

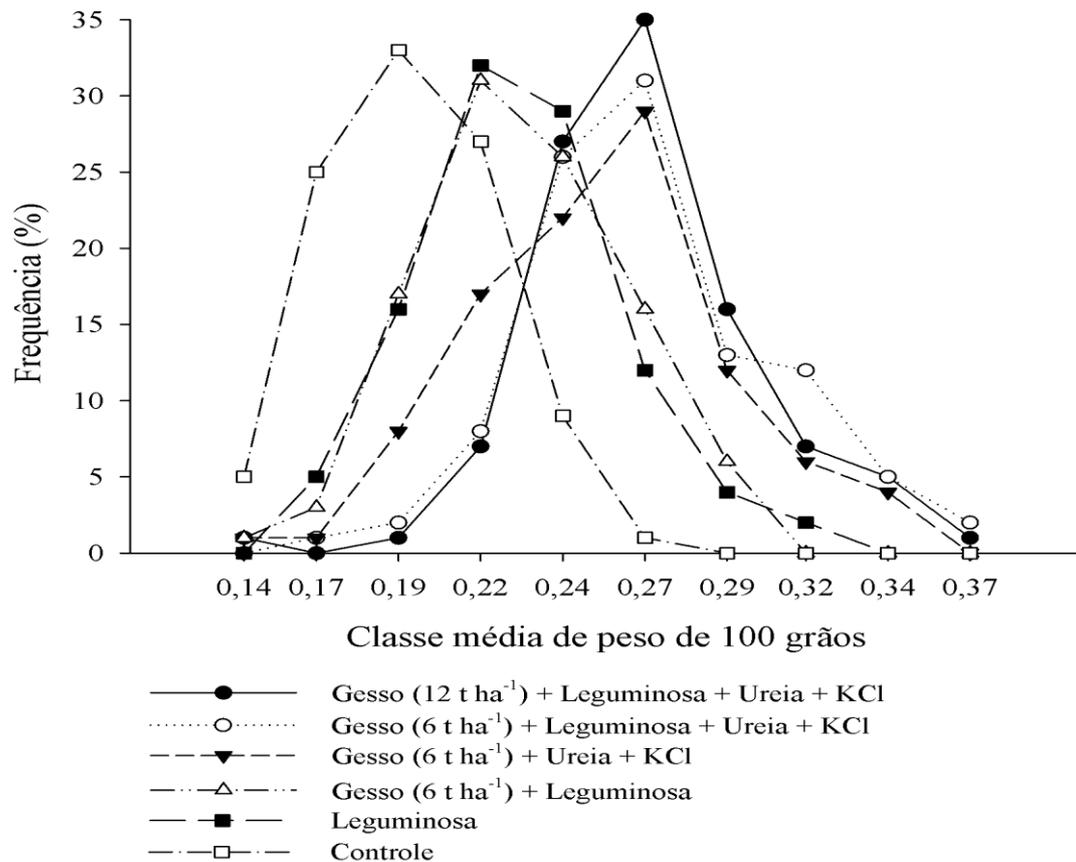


Figura 5 – Frequência em relação diferentes classes de peso do milho sob diferentes tratamentos com uso de gesso, leguminosas arbóreas e fertilizantes minerais.

Os teores de N na planta nas fases de floração, maturação e nos grãos demonstraram que nos tratamentos que continham leguminosas e uréia, foram afetados e alcançaram os maiores teores de N (Tabela 5). O tratamento com combinação de gesso e uréia sem uso de leguminosas apresentou teores de N sem diferenças estatísticas em comparação com o Controle. Isso sugere que o N disponibilizado pela uréia em solo descoberto não teve um bom aproveitamento pelas plantas de milho e que a combinação de leguminosas utilizadas (sombreiro+leucena) disponibilizou os nutrientes gradativamente durante o ciclo da cultura, conforme constatado por Moura et al. (2010) ao pesquisar o efeito de diferentes combinações de leguminosas arbóreas sobre a eficiência do uso de nutrientes.

Os tratamentos com Gesso (12 t ha⁻¹)+Leg+U+KCl, Gesso (6 t ha⁻¹)+Leg+U+KCl e Leguminosas diferiram do Controle com relação ao NR. Os tratamentos com Gesso (6 t ha⁻¹) + U + KCl e Gesso (6 t ha⁻¹)+Leg apresentaram os valores de NR estatisticamente iguais ao

controle e este fato confirma a importância dos resíduos de leguminosas arbóreas em combinação com N industrial sobre a remobilização e eficiência do uso do nitrogênio. Em vários trabalhos foi demonstrados serem os grãos o dreno principal para o N fornecido pós-antese (LEITE et al., 2008).

Quanto a eficiência agrônômica do nitrogênio aplicado (EAN), não houve diferenças significativas entre tratamentos. O índice de colheita (IC) não diferiu em relação ao controle e nem em comparação aos demais tratamentos. Quanto ao fator parcial de nitrogênio aplicado (FPN), o tratamento Gesso (6 Mg ha^{-1})+U+KCl apresentou o maior valor em comparação aos demais tratamentos, em função do aporte de N aplicado neste tratamento ter sido menor que dos demais tratamentos, e a relação é dada pela produção de grãos/N aplicado, pois não houve o aporte de N das leguminosas nesse tratamento.

Tabela 5. Avaliação do nitrogênio (N) sob vários parâmetros e índice de colheita (IC) na cultura do milho sob diferentes tratamentos com uso de gesso, leguminosas arbóreas e fertilizantes minerais

N Plt. Ant. = Nitrogênio na Planta na Antese; **N Plt. Mat.**= Nitrogênio na Planta na Maturação; **PB grão** = Proteína Bruta no Grão; **N no Grão** = Nitrogênio no Grão; **IC** = Índice de Colheita; **NR** = Nitrogênio Remobilizado; **ENR** = Eficiência de Nitrogênio Remobilizado; **EAN** = Eficiência Agrônômica do Nitrogênio aplicado; **FPN** = fator Parcial do Nitrogênio aplicado.

Variáveis Avaliadas	Tratamentos						CV (%)
	G (12 t ha ⁻¹) +Leg+U+KCl	G (6 t ha ⁻¹) +Leg+U+KCl	G (6 t ha ⁻¹) +Leguminosas	G(6 t ha ⁻¹) +U+KCl	Leguminosas	Controle	
N Plt.Ant.(Mg ha ⁻¹)	199,57 ab	231,90 a	113,13 cd	139,77 bcd	157,06 abc	60,82 d	24,26
N Plt.Mat.(Mg ha ⁻¹)	47,91 a	50,90 a	28,82 ab	26,32 ab	36,86 ab	18,23 b	33,54
PB grão (%)	10,46 ab	10,81 a	10,72 a	9,1 ab	10,67 a	8,27 b	9,89
N grão (Mg ha ⁻¹)	67,51 ab	72,45 a	56,09 ab	40,44 bc	68,82 ab	23,37 c	22,92
IC	0,57 a	0,57 a	0,58 a	0,61 a	0,60 a	0,57 a	5,58
NR (Mg ha ⁻¹)	151,65 ab	181,00 a	84,30 bc	113,45 abc	120,20 ab	42,58 c	28,81
ENR (%)	101,60 a	109,53 a	74,38 a	25,42 b	85,965 a	-	32,07
EAN (kg kg ⁻¹)	11,83 a	12,66 a	11,58 a	18,08 a	16,95 a	-	31,79
FPN (kg kg ⁻¹)	21,15 c	21,98 bc	24,88 bc	49,25 a	30,25 b	-	15,33

Médias seguidas pelas mesmas letras na mesma linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey (p<0,05).

5 – CONCLUSÕES

O uso de leguminosas arbóreas em cobertura constitui-se uma prática importante para a agricultura familiar nas regiões dos trópicos úmidos, pois isso pode aumentar a produtividade das culturas. No entanto, esta prática só será bem sucedida se for usada uma combinação de espécies que forneçam resíduos de baixa e alta qualidade. Esta técnica vai garantir uma taxa adequada de liberação de nutrientes, principalmente de N, manter a cobertura do solo durante todo o ciclo da cultura e aumentar a eficiência de utilização dos nutrientes, que é um dos principais fatores de sucesso para a o manejo dos agrossistemas em solos arenosos das regiões dos trópicos, que são suscetíveis à coesão e sujeitos à alta lixiviação de nutrientes.

Efeitos substanciais no solo e conseqüentemente na cultura do milho em função da gessagem são esperados após um período superior ao tempo de duração do presente trabalho. Os resultados obtidos foram apenas do primeiro ano de instalação do experimento e, portanto, não foram suficientes para apresentarem respostas significativas ao que se esperava, principalmente quanto ao incremento do enraizamento do milho nas camadas subjacentes do solo. Embora o gesso tenha promovido deslocamento de bases no perfil do solo, não houve efeito sobre a densidade de comprimento radicular (DCR) do milho nas camadas subsuperficiais.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, A.C.F.; BICUDO, S.J.; COSTA SOBRINHO, J.R.S.; MARTINS, A.L.S.; COELHO, K.P.; MOURA, E.G. Nutrient recycling and physical indicators of na alley cropping system in a Sandy loam soil in the Pre-Amazon region of Brazil. **Nutrent Cycling in Agroecosystems**, v. 86, p.189-198, 2010.

ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A.; CAIRES, E.F. Atributos químicos de um Latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.29, p.923-934, 2005.

ALVA, A.K.; BLAMEY, F.P.C.; EDWARDS, D.G. & ASHER, C.J. An evolution of aluminum indices to predict aluminum toxicity to plants grown in nutrient solutions *Comm. Soil Science Plant Anal.*, 17:1271-1280, 1986.

AMARAL, A.S. & ANGHINONI, I. Alteração de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 36:695-702, 2001.

ARAÚJO FILHO, J.A. & CARVALHO, F.C. **Sistemas de produção agrossilvipastoril para o semi-árido nordestino**. In: CARVALHO, M.M.; ALVIM, M.J. & CARNEIRO, J.C., eds. *Sistemas agroflorestais pecuários: Opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais*. Juiz de Fora, p.101-110, 2001.

BANCAL, P. Decorrelating source and sink determinism of nitrogen remobilization during grain filling in wheat. **Annals of Botany**. v. 103, p. 1315–1324, 2009.

BATHKE, G.R.; CASSEL, D.K.; HARGROVE, W.L.; PORTER, P.M. Modification of soil physical properties and root growth response. **Soil Science**, v. 154, p. 316-329, 1992.

BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A.O., eds. *Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecosistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre, Metrópole, p.7-18, 2008

BECHER, H. H.; BREUER, J. & KLINGLER, B. An index value for characterizing hardsetting soils by fall-cone penetration. **Soil technology**, v.10, p. 47-56, 1997.

BERTOL, O.J. **Contaminação da água de escoamento superficial e da água percolada pelo efeito de adubação mineral e adubação orgânica em sistema de semeadura direta**. 2005. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná - Curitiba, [2005].

BEUTLER, J.F., BERTOL, I., VEIGA, M. Perdas de solo e água num Latossolo Vermelho Aluminoférrico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.3, p. 509-517, 2003.

BÖHM, W., *Methods of studying root systems*. New York, **Springer-Verlag**, 194p. 1979.

BRADY, N.C. Alternatives to slash and burn: a global imperative. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 58, p. 3-11, 1996.

BUSSCHER, W.J.; BAUER, P.J. & FREDERICK, J.R. Recompaction of the coastal loamy sand after deep tillage as a function of subsequent cumulative rainfall. **Soil and Tillage Research**, 68:49-57, 2002.

CABEZAS, W., A., R., L. & MARCOS, A., S. volatilização de amônia, lixiviação de nitrogênio e produtividade de milho em resposta à aplicação de misturas de uréia com sulfato de amônio ou com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:2331-2342, 2008.

CAIRES, E.F.; GARBUIO, F.J.; ALLEONI, L.R.F; CAMBRI, M.A. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.87-98, 2006.

CAIRES, E.F.; ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A.; BARTH, G. Surface Application of Lime for Crop Grain Production Under a No-Till System. **Agronomy Journal, Madison**, v.97, p.791- 798, 2005.

CAIRES, E.F.; KUSMAN, M. T.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J. & PADILHA, J. M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:125-136, 2004.

CAIRES, E.F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. & KUSMAN, M.T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:275–286, 2003.

CAIRES, E.F.; FELDILAU, I.C.; BLUM, J. Crescimento radicular nutrição da cevada em função da calagem e aplicação de gesso. **Bragantia**, v.60, p.213-223, 2001.

CAIRES, E.F.; BANZATTO, D.A. & FONSECA, A.F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:161-169, 2000.

CAIRES, E.F.; CHUERI, W.A.; MADRUGA, E.F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.27-34, 1998.

CAMBRI, M.A. **Calagem e formas de alumínio em três localidades sob sistema de plantio direto**. 2004. 83 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo – Piracicaba,[2004].

CANCÈS, B.; PONTHEU, M.; CASTREC-ROUELLE, M.;AUBRY, E.; BENEDETTI, M.F. Metal ions speciations in a soil and its solution: experimental data and model results. **Geoderma**, Amsterdam, v.113, p.641-355, 2003.

CARVALHO, M.C.S. & RAIJ, B. van. Calcium sulphate, phosphogypsum and calcium carbonate in the amelioration of acid subsoils for root growth. **Plant Soil**, 192:37-48, 1997.

CASSOL, E.A.; LEVIEN, R.; ANGHINONI, I.; BADELUCCHI, M. P. Perdas de nutrientes por erosão em diferentes métodos de melhoramento de pastagem nativa no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.705-712, 2002.

CLARK, L. J.; WHALLEY, W.R.; BARRACLOUGH, P.B. How do roots penetrate strong soil? **Plant and Soil**, v. 255, p. 93–104, 2003.

COELHO, A.M.; FRANÇA, G.E. Seja o doutor do seu milho: nutrição e adubação. Piracicaba: **Informações Agronômicas**, p.1-9, 1995.

CONSTANTIN, J.; MARY, B.; LAURENT, F.; AUBRION, G.; FONTAINE, A.; KERVEILLANT, P.; BEAUDOIN, N. Effects of catch crops, no till and reduced nitrogen fertilization on nitrogen leaching and balance in three long-term experiments. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 135, p. 268-278, 2010.

CORRÊA, M. M.; Ker, J. C.; Barrón, V.; Torrent, J.; Curi, N.; Torres, T. C. P. Caracterização física, química, mineralógica e micromorfológica de horizontes coesos e fragipãs de solos vermelhos e amarelos do ambiente tabuleiros costeiros. **Revista de Brasileira de Ciência do Solo**, 32:297-313, 2008.

DECHERT G.; VELDKAMP E.; BRUMME, R. Are partial nutrient balances suitable to evaluate nutrient sustainability of land use systems? Results from a case study in Central Sulawesi, Indonesia. **Nutrient Cycling in Agroecosystems** 72:201–212, 2005.

DELGADO, J.A; LEMUNYON, J. Nutrient management, **Encyclopedia soil science**, Markel and Decker, In R Lal (ed.) p.1157-1160, 2006.

DORDAS, C. A.; SIOULAS, C. Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis, and water use efficiency response to nitrogen fertilization under rain fed conditions. **Industrial Crops and Products**, v. 27, p. 75-85, 2008.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa. 412p., 2006.

FEARNSIDE, P.M. Avança Brasil: Environmental and social consequences of Brazil's planned infrastructure in Amazonia. **Environmental Management** 30(6): 748-763, 2002.

FERRAZ JUNIOR, A.S.L.; SOUZA, S. R.; FERNANDES, M. S. Ciclagem de nutrientes em sistema de cultivo em aléias. **Pesquisa em Foco**, são Luis, v.5 n.6, p. 7-29, 1999.

FERRAZ JUNIOR, A.S.L. O cultivo em aléias como alternativa para produção de alimentos na agricultura familiar do trópico úmido. In: MOURA, E.G. (Ed.). **Agroambientes de**

transição: entre o trópicico úmido e o semi-árido do Brasil. São Luis: Universidade Estadual do Maranhão, Cap.3,p. 71-100, 2004.

FERRAZ JUNIOR, A.S.L. O cultivo em aléias como alternativa para produção de alimentos na agricultura familiar do trópico úmido. In: MOURA, E.G. (Ed.). **Agroambientes de transição: entre o trópicico úmido e o semi-árido do Brasil.** São Luis: Universidade Estadual do Maranhão, Cap.3,p. 71-100, 2006.

FRANCHINI, J.C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M. & PAVAN, M.A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:533-542, 1999.

GIAROLA, F. B.; SILVA, A. P. Conceitos sobre solos coesos e hardsetting. **Scientia Agricola**, v.59, n.3, p.613-620, jul./set. 2002.

GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.P. da.; TORMENA, C.; SOUZA, L. da S.; RIBEIRO, L. da P. Similaridades entre o caráter coeso dos solos e o comportamento hardsetting: estudo de caso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.239-247, 2001.

HARGROVE, W.L.; THOMAS, G.W. Extraction of aluminum from aluminum-organic matter complexes. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 45, p.151-153, 1981.

HARPER, R. J.; GILKES, R. J. Hardsetting in the surface horizons of sandy soils and its implications for soil classification and management. **Australian Journal of Soil Research**, v.32, p.603-619, 1994.

HARTEMINK, A.E. Assessing soil fertility decline in the tropics using soil chemical data. **Advances in Agronomy**, 89:179-225, 2006.

HODGE, A.; BERTA, G.; DOUSSAN, C.; MERCHAN, F.; CRESPI, M. Plant root growth, architecture and function. **Plant and Soil**, v. 321, p. 153–187, 2009.

HUMBLE, E. C.; ALVES, V. M. C.; MARRIEL, I. E.; PITTA, G. V. E.; CARVALHO, J. G. Matéria seca e acúmulo de nutrientes em genótipos de milho contrastantes quanto a aquisição de fósforo. **Ciência Agrotecnica**. v.31, p. 704-712, 2007.

IAC. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. IAC, Campinas, 2001.

IMHOFF, S.; KAY, B.D.; SILVA, A.P.; HAJABBASI, M.A. Evaluating responses of maize (*Zea mays* L.) to soil physical conditions using a boundary line approach. **Soil and Tillage Research**, v. 106, p. 303-310, 2010.

JACOMINE, P.K.T. Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Aracaju, 2001. **Anais**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros,. p.19-46. 2001

JALILI, V.R.R.; NARAIN, N.; SILVA, G.F. Effect of osmotic predehydration on drying characteristics of banana fruits. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.28, n.2, p.269-273, 2008.

JOSE, S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. **Agroforestry Systems**, v.76, p. 1-10, 2009.

KAY, B.D.; HAJABBASI, M.A.; YING J.; TOLLENAAR, M. Optimum versus non-limiting water contents for root growth, biomass accumulation, gas exchange and the rate of development of maize (*Zea mays* L.). **Soil and Tillage Research**, v. 88, p. 42–54, 2006.

KOLAHCHI, Z. & JALALI, M. Effect of water quality on the leaching of potassium from 16 sandy soils. **Journal Arid Environ**, 68:624-639, 2007.

KUCHENBUCH, R.O.; GERKE, H.H.; BUCZKO, U. Spatial distribution of maize roots by complete 3D soil monolith sampling. **Plant and Soil**, v. 315, p. 297–314, 2009.

LEITE, A., A., L.; FERRAZ JUNIOR, A., S., L.; MOURA, E., G.; A GUIAR, a., C., F. Comportamento de dois genótipos de milho cultivados em sistema de aléias preestabelecido com diferentes leguminosas arbóreas. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.4 p.857-882, 2008.

LEY, G.J.; MULLINS, C.A.; LAL, R. The potential restriction to root growth in structurally weak Tropical soils. **Soil & Tillage Research**, v.33, p.133-142, 1995.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.175-187, 2004.

MARQUES, R.R.; CRUSCIOL, C.A.C.; CASTRO, G.S.A .& PERIM, L. Water-soluble nutrients in aerial plant parts of peanut and white oat as affected by lime and gypsum application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35:513-522, 2011.

MASONI, A.; ERCOLI, L. MARIOTTI, M.; ARDUINI, I. Post-anthesis accumulation and remobilization of dry matter, nitrogen and phosphorus in durum wheat as affected by soil type. **European Journal of Agronomy**, v. 26, p. 179-186, 2007.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic, 889p. 2002.

MARSCHNER, H. Mineral Nutrition of Higher Plants. **Academic Press**, London, p. 379–395, 1995.

MASLE, A.; PASSIOURA, J.B. Effect of soil strength on the growth of young wheat plants. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.14, p.634-656, 1987.

McDONALD, R.C.; ISBELL, R.F.; SPEIGHT, J.G.; WALKER, J.; HOPKINS, M.S. Australian soil and land survey field handbook. **Melbourne**: Inkata Press. 2ed., 1990.

MENDONÇA, E. S. & STOTT, D. E. Characteristics and decomposition rates of pruning residues from a shaded coffee system in Southeastern Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 57, p.117-125, 2003.

MENGEL, D.B., BARBER, S.A., Rate of nutrient uptake per unit of corn root under field conditions. **Agronomy Journal**, 66, 399-402. 1974.

MONTGOMERY, E.G. Correlation studies of com. Annual Report. **Nebraska Agricultural**

Experiment Station, v. 24, p. 108-159, 1911.

MOREAU, A.M.S.S. **Gênese, química e micromorfologia de horizontes coeso, fragipã e duripã em solos do tabuleirocosteiro no sul da Bahia**. 139p. 2001. (Tese de Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa - Viçosa, MG, [2001].

MOURA, E.G.; SERPA, S.S.; SANTOS, J.G.D.; COSTA SOBRINHO, J.R.S.; AGUIAR, A.C.F. Nutrient use efficiency in alley cropping systems in the Amazonian periphery. **Nutr Cycl Agroecosyst**, v. 86, p. 189-198, 2010.

MOURA, E.G.; MOURA, N.G.; MARQUES, E.S.; PINHEIRO, K.M.; COSTA SOBRINHO, J.R.S.; AGUIAR, A.C.F. Evaluating chemical and physical quality indicators for a structurally fragile tropical soil. **Soil Use and Management**, v. 25, p. 368-375, 2009.

MOURA, E.G.; ALBUQUERQUE, J.M.; AGUIAR, A.C.F. Growth and productivity of corn as affected by mulching and tillage in alley cropping systems. **Scientia Agricola**, v. 65, p. 204-208, 2008.

MULLINS, C.E. Hardsetting soils. In: SUMNER, M.E. (Ed.), *Handbook of soil science*. New York: **CRC Press**, p.G65-G87. 1999.

MULLINS, C.E. Hardsetting. In: LAL, R.; BLUM, W.H.; VALENTINE, C.; STEWART, B.A. (Ed.) *Methods for assesment of soil degradation*. **Advances in Soil science**. New York: CRC Press, p.109-128. 1997.

MULLINS, C.E.; CASS, A.; MacLEOD, D.A.; HALL, D.J.M.; BLACKWELL, P.S. Strength development during drying of a cultivated, flood-irrigated hardsetting soil. II. Trangie soil, and comparison with theoretical predictions. **Soil & Tillage Research**, v.25, p.129-147, 1992b.

MULLINS, C.E.; MacLEOD, D.A.; NORTHCOTE, K.H.; TISDALL, J.M.; YOUNG, I.M. Hardsetting soils: behaviour, occurrence and management. **Advances in Soil Science**, v.11, p.37-108, 1990.

MULLINS, C.E.; YOUNG, I.M.; BENGHOUGH, A.G.; LEY, G.J. Hard-setting soils. **Soil Use and Management**, v.3, p.79-83, 1987.

NASCIMENTO, G.B. **Caracterização dos solos e avaliação de propriedades edáficas em ambiente de Tabuleiros Costeiros da região Norte Fluminense (RJ)**. 2001. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro- Rio de Janeiro, [2001].

NEIS L.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D.; REIS. E. F. & PINTO, F. A. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do Sudoeste de Goiás. **Revista Brasileiro de Ciência do Solo**, 34:409-416, 2010.

NEWMAN, E.I., A method of estimating the total length of root in a sample. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, 3, 139-145. 1966.

OKOGUN, J. A.; SANGINGA, N.; MULONGOY, K. Nitrogen contribution of five leguminous trees and shrubs to alley cropped maize in Ibadan, Nigeria. **Agroforestry Systems**, v. 50, p.123-136, 2000.

OLIVEIRA, A. K. C. **Atributos físicos do solo e crescimento de raízes do milho no sistema de plantio direto sobre palha de leguminosas**. 41f. 2011. (Dissertação Mestrado), Curso de Mestrado em Agroecologia - Universidade Estadual do Maranhão, São Luis, [2011].

OLIVEIRA, E.; PAVAN, M.A. The control of soil acidity in no-till system for soybean production. **Soil and Tillage Research**, v.38, p.47-57, 1996.

PENG, S.; BURESH, R.; HUANG, J.; YANG, J.; ZOU, J.; ZHONG, X.; WANG, G.; ZHANG, F. Strategies for overcoming low agronomic nitrogen use efficiency in irrigate rice systems in China. **Fields Crop Research**. v. 96, p. 37-47, 2006.

RAIJ, B. VAN, ANDRADE, J.C., CANTARELLA, H., QUAGGIO, J.A. (Eds). Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, p. 285. 2001.

RAIJ, B. van. Gesso na agricultura. Campinas: **Instituto Agrônomo**, 233p., 2008.

REZENDE, J. de O. Solos coesos dos Tabuleiros Costeiros: limitações agrícolas e manejo. Salvador: **SEAGRI**, SPA, (Série Estudos Agrícolas, 1). 117p. 2000.

- RIBEIRO, M.R. Características morfológicas dos horizontes coesos dos solos dos Tabuleiros Costeiros. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Aracaju, 2001. **Anais**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros p.161-168., 2001a.
- RIBEIRO, L.P. Evolução da cobertura pedológica dos tabuleiros costeiros e a gênese dos horizontes coesos. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Aracaju, 2001. **Anais**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, p.93-121. 2001b.
- RITCHEY, K.D.; SILVA, S.E. & COSTA, V.F. Calcium deficiency in clayey B horizons of savannah Oxisols. **Soil Sci.**, 133:378-382, 1982.
- ROSOLEM, C.A.; MACHADO, J.R. Efeito da calagem e gessagem na produção de algodão e na lixiviação de bases em dois latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.8, p.103-109, 1984.
- SÁ, J.C.M. Manejo da Fertilidade do solo no plantio direto. Castro, **Fundação ABC**, 94p. 1993.
- SAEG - **Sistema para Análises Estatísticas**, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV – Viçosa/MG, 2007.
- SANGAKKARA, U.R.; LIEDGENS, M.; SOLDATI, A.; STAMP, P. Root and shoot growth of maize (*Zea mays*) as affected by incorporation of *Crotalaria juncea* and *Tithonia diversifolia* as green manures. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 190, p. 339–346, 2004.
- SHAINBERG, I.; SUMNER, M.E.; MILLER, W.P.; FARINA, M.P.W.; PAVAN, M.A. & FEY, M.V. Use of gypsum on soils: A review. **Advances in Soil Sciences**, 9:1-111, 1989.
- SHARMA, A.R.; BEHERA, U.K. Green leaf manuring with prunings of *Leucaena leucocephala* for nitrogen economy and improved productivity of maize (*Zea mays*)-wheat (*Triticum aestivum*) cropping system. **Nutrient Cycling in agroecosystems**, v. 86, p.39-52, 2010.

SILVA, N.M.; RAIJ, B.van; CARVALHO, L.H.; BATAGLIA, O.C. & KONDO, J.I. Efeitos do calcário e do gesso nas características químicas do solo e na cultura do algodão. **Bragantia**, 56:389-401, 1997.

SITTHAPHANIT, S.; LIMPINUNTANA, V.; TOOMSAN, B.; PANCHABAN, S.; BELL, R.W. Fertiliser strategies for improved nutrient use efficiency on sandy soils in high rainfall regimes. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 85, p. 123-139, 2009.

SORATTO, R.P. & CRUSCIOL, C.A.C. Cátions hidrossolúveis na parte aérea de culturas anuais mediante aplicação de calcário e gesso em superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:81-90, 2007.

SOUZA, L.D., SOUZA, L.S., LEDO, C.A.S. Sistema radicular dos citros em Neossolo Quartzarênico dos Tabuleiros Costeiros sob irrigação e sequeiro. **Pesq. agropec. bras.** 42, 1373-1381. 2007

SOUZA, D. M. G.RITCHEY, K. D. Uso do gesso no solo do cerrado. In: **Anais** do I Seminário sobre o Uso de Fosfogesso na Agricultura. Brasília, Embrapa – DDT, p. 119-144, 1986.

SOUZA, S. R.; STARK, E. M. L.; FERNANDES M. S. Nitrogen remobilization during the reproductive period in two brazilian rice varieties. **Journal of Plant Nutrition**, Madison, v.10 n.21, p.2049-2063, 1998.

SUMNER, M.E. Amelioration of subsoil acidity with minimum disturbance. In: JAYAWARDANE, N.S.; STEWART, B.A. (Eds.). **Subsoil management techniques**. Athens: **Lewis Publishers**, p.147-185. 1995.

Statsoft incEstatística for windows (Software-system for data-analys). Version 8.0, Tulsa, USA. . (1974-2009).

STRECK, C.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, v. 34, p. 755-760, 2004.

TEDESCO, M.J. **Análise de solo, plantas e outros minerais**. UFRGS: Depto. de Solos. Faculdade de Agronomia, Porto Alegre, 174p., 1995.

TENNANT, D., A test of a modified line intersect method of estimating root length. *J. Ecol.* 63, 995-1001, 1975.

URRUTIA, M.; MACÍAS, F.; GARCÍA-RODEJA, E. Evaluación del CuCl_2 y del LaCl_3 como extractantes de aluminio en suelos ácidos de Galicia. **Nova Acta Científica Compostelana (Biología)**, Santiago de Compostela, v.5, p.173-182, 1995.

VANCE, G.F.; STEVENSON, F.J.; SIKORA, F.J. Environmental chemistry of aluminum-organic complexes. In: SPOSITO, G. (Ed.). *The environmental chemistry of aluminum*. 2.ed. Flórida: **Lewis Publishers**, p.169-220. 1996.

VOLK, L.B.S.; COGO, N.P.; STRECK, E.V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.763-774, 2004.

WEAICH, K.; BRISTOW, K.L.; CASS, A. Pre-emergent shoot growth of maize under different drying conditions. **Soil Science Society of America Journal**, v.56, p.1272-1278, 1992a.

XU, L.; ZHANG, Q.; HUANG, L. Nitrogen leaching in a typical agricultural extensively cropped catchment, China: experiments and modeling. **Water and Environment Journal**, v. 24, p. 97–106, 2010.

YANG, J.; ZHANG, J. Grain-filling problem in ‘super’ rice. **Journal of Experimental Botany**, v. 61, p. 1-5, 2010.

YANG, J.; ZHANG, J. Grain filling of cereals under soil drying, **New Phytologist**, v. 169, p. 223–236, 2006.

YANG, J.; PENG, S.; ZHANG, Z.; WANG, Z.; VISPERAS, R. M.; ZHU, Q. Grain and matter yields and partitioning of assimilates in japonica/indica hybrids. **Crop Science**, v. 42, p. 766-772, 2002.

YOUNG, I.M.; MULLINS, C.E.; COSTIGAN, P.A.; BENGOUGH, A.G. Hardsetting and structural regeneration in two unstable British sandy loams and their influence on crop growth. **Soil & Tillage Research**, v.19, p.383-394, 1991.

YUAN, L. P. Hybrid rice breeding in China. In: Virmani, S. S.; Siddiq. E. A.; Muralidharan, K., (eds.) **Advances in hybrid rice technology. Proceedings of the third international symposium on hybrid rice**. Los Baños, Philippines: Internacional Rice Research Institute, 3-6, 1996.

ZAMAN, M.; NGUYEN, M.L.; BLENNERHASSETT J.D.; QUIN, B.F. Reducing NH₃, N₂O and NO₃⁻ N losses from a pasture soil with urease or nitrification inhibitors and elemental S-amended nitrogenous fertilizers. **Biology and Fertility of Soils**, v. 44, p. 693–705, 2008.

ZAMBROSI, F.C.B.; ALLEONI, L.R.F.; CAIRES, E.F. Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de Latossolo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, p.110-117, 2007a.

ZAMBROSI, F.C.B.; ALLEONI, L.R.F.; CAIRES, E.F. Teores de alumínio trocável e não trocável após calagem e gessagem em Latossolo sob sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.3, p.487-495, 2007.