

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL

ANÁGILA JANENIS CARDOSO SILVA

**EFICIÊNCIA DO USO DO NITROGÊNIO E DESEMPENHO AGRONÔMICO DO
MILHO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA DE LEUCENA NO
TRÓPICO ÚMIDO**

CHAPADINHA-MA

2016

ANÁGILA JANENIS CARDOSO SILVA

**EFICIÊNCIA DO USO DO NITROGÊNIO E DESEMPENHO AGRONÔMICO DO
MILHO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA DE LEUCENA NO
TRÓPICO ÚMIDO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência Animal da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre.

Orientadora: Prof. Dra. Alana das Chagas
Ferreira Aguiar

CHAPADINHA-MA

2016

Cardoso Silva, Anágila Janenis.

Eficiência do Uso do Nitrogênio e Desempenho Agronômico do Milho em Sistema de Plantio Direto na Palha de Leucena no Trópico Úmido / Anágila Janenis Cardoso Silva. - 2016. 33 p.

Coorientador(a): Emanuel Gomes de Moura.

Orientador(a): Alana das Chagas Ferreira Aguiar.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciência Animal (25.06)/ccaa, Universidade Federal do Maranhão, Universidade Federal do Maranhão, 2016.

1. Eficiência Agronômica. 2. Remobilização. 3. Produção de grãos. I. Ferreira Aguiar, Alana das Chagas. II. Gomes de Moura, Emanuel. III. Título.

ANÁGILA JANENIS CARDOSO SILVA

Engenheira Agrônoma

**EFICIÊNCIA DO USO DO NITROGÊNIO E DESEMPENHO AGRONÔMICO DO
MILHO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA DE LEUCENA NO
TRÓPICO ÚMIDO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência Animal da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre.

Dissertação defendida e aprovada em : ___/ ___/ 2016

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dra. Alana das Chagas Ferreira Aguiar (Orientador)
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Prof. Dr. Emanuel Gomes de Moura
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

Prof. Dr. Altamiro Souza de Lima Ferraz Junior
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por tudo que tem me proporcionado.

À Prof. Dr. Alana das Chagas Ferreira Aguiar, pelo incentivo e pela disponibilidade na orientação;

Ao Prof. Dr. Emanuel Gomes de Moura pelas contribuições e estímulo intelectual;

Ao Prof. Dr. Altamiro Ferraz Júnior pela disponibilidade na banca e poder contribuir para este trabalho;

Aos colegas do grupo de pesquisa ECONOUS pela ajuda e os bons momentos vividos juntos;

Ao seu Aldamir e família por nos acolher tão bem no povoado Acampamento e nos ajudar incondicionalmente durante toda a execução do experimento em campo, mas em especial à Dona Francilene por nos tratar como membros da família e nos receber por um período em sua residência.

À minha irmã Janayra, ao Prof. Dr. Marcos Antonio Bonfim e seus orientados pela ajuda nas análises laboratoriais.

A todos da minha família que me apoiam e torcem por mim.

À Universidade Federal do Maranhão (UFMA), por meio do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal (PPGCA), pelas oportunidades, pelos conhecimentos compartilhados e seus ensinamentos e apoio técnico – científico.

À CAPES pela concessão da bolsa durante o mestrado.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho.

RESUMO

Nos solos do trópico úmido, a eficiência do uso de nutrientes é muito baixa, principalmente daqueles exigidos em maiores quantidades pelas plantas, como o nitrogênio. Os objetivos com esse estudo foram avaliar o efeito da utilização de cobertura com biomassa da leguminosa leucena associada ao adubo mineral e o ácido húmico sobre a disponibilidade e eficiência do uso de N; avaliar o desempenho agrônômico da variedade de milho QPM BR 473 associada aos seguintes tratamentos: 133 kg ha⁻¹ de uréia como fonte de Nitrogênio (N); 15 t ha⁻¹ de leucena (L); 133 kg ha⁻¹ de uréia + 15 t ha⁻¹ de leucena (N + L); 500 L ha⁻¹ de ácido húmico + 15 t ha⁻¹ de leucena (AH + L); 500 L ha⁻¹ de ácido húmico + 133 kg ha⁻¹ de uréia (AH + N) e 500 L ha⁻¹ de ácido húmico + 133 kg ha⁻¹ de uréia + 15 t ha⁻¹ de leucena (AH + N + L). Todos os tratamentos receberam 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 60 kg ha⁻¹ de K₂O e 25 kg ha⁻¹ de ZnSO₄. O tratamento N + L foi o que proporcionou maior produtividade (5385 kg ha⁻¹), remobilização do nitrogênio (35,20 kg ha⁻¹), eficiência agrônômica (32,61 kg kg⁻¹) e maior eficiência de recuperação (52,44%). Para esta investigação, com os dados das eficiências apresentadas principalmente as eficiências agrônômica e de recuperação do nitrogênio, bem como o nitrogênio remobilizado e a produção de grãos, pode-se inferir que a combinação da biomassa de leucena com uréia foi a que apresentou maior produtividade, constatando que o uso dessas duas fontes de nitrogênio juntas em sistema de plantio direto é uma importante alternativa para os pequenos produtores do trópico úmido. Portanto, o efeito da sincronia existente entre a liberação de nitrogênio pelas fontes orgânica e mineral foi perfeitamente comprovado pelos dados apresentados neste estudo, no entanto, a sinergia dessas fontes com o ácido húmico não ficou perfeitamente esclarecida. Sendo assim, aumentar a eficiência de nutrientes pelas plantas através de novos mecanismos como a aplicação de ácidos húmicos pode ser um meio de melhorar a produtividade. Entretanto, ainda é necessário conhecer melhor os mecanismos envolvidos neste processo para aperfeiçoá-los.

Palavras-Chave: Eficiência agrônômica, remobilização, produção de grãos.

ABSTRACT

In the humid tropical soils, the efficiency of nutrient use is very low, especially those required in larger quantities by plants, such as nitrogen. The objectives of this study were to evaluate the effect of using leucena legume biomass coverage associated with mineral fertilizer and humic acid on the availability and efficiency of use of N; evaluate the agronomic performance of the variety of corn QPM BR 473 associated with the following treatments: 133 kg ha⁻¹ of urea as a source of nitrogen (N); 15 t ha⁻¹ leucena (L); 133 kg ha⁻¹ of urea + 15 t ha⁻¹ leucena (N + L); 500 L ha⁻¹ humic acid + 15 t ha⁻¹ leucena (AH + L); 500 L ha⁻¹ humic acid + 133 kg ha⁻¹ of urea (AH + N) and 500 L ha⁻¹ humic acid + 133 kg ha⁻¹ of urea + 15 t ha⁻¹ leucena (AH + N + U). All treatments received 120 kg ha⁻¹ of P₂O₅, 60 kg ha⁻¹ of K₂O and 25 kg ha⁻¹ ZnSO₄. The N + L treatment was the highest productivity (5385 kg ha⁻¹), nitrogen remobilization (35.20 kg ha⁻¹), agronomic efficiency (32.61 kg kg⁻¹) and higher recovery efficiency (52.44%). For this investigation, with the data efficiencies mainly shows the agronomic and nitrogen recovery efficiency and nitrogen remobilized and grain production, it can be inferred that the combination of biomass leucena with urea showed the highest productivity, noting that the use of these two sources of nitrogen together in tillage system is an important alternative for small producers in the humid tropics. Therefore, the effect of the existing synchronization between the release of nitrogen by organic and mineral sources was well demonstrated by the data presented in this study, however, the synergy of these sources with the humic acid was not fully clarified. Thus, increasing the efficiency of nutrients by plants through novel mechanisms as the application of humic acid may be a means of improving productivity. However, it is still necessary to better understand the mechanisms involved in this process to improve them.

Keywords: agronomic efficiency, remobilization, grain production.

SUMÁRIO

	p.
1	INTRODUÇÃO..... 09
2	REVISÃO DE LITERATURA..... 10
2.1	Plantio Direto na Palha de Leguminosas Arbóreas..... 10
2.2	Eficiência do Uso de Nutrientes (EUN)..... 11
2.3	Absorção e Remobilização do Nitrogênio..... 13
2.4	Ácido Húmico: condicionador do solo..... 14
3	MATERIAL E MÉTODOS..... 16
3.1	Localização, Clima e Solo..... 16
3.2	Instalação da área experimental..... 16
3.3	Análises feitas na Cultura do Milho..... 17
3.4	Análises Estatísticas..... 19
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 19
4.1	Componentes da Produtividade do Milho..... 19
4.2	Quantidades de Nitrogênio (N) e demais macronutrientes nas folhas, colmo e grãos do milho na antese e maturação..... 21
4.3	Acúmulo e Remobilização do Nitrogênio no milho..... 26
4.4	Eficiência do Uso do Nitrogênio pela cultura do milho..... 27
5	CONCLUSÕES..... 29
	REFERÊNCIAS..... 31

LISTA DE FIGURAS

	p.
Figura 1. Localização da área de estudo.....	16
Figura 2. Valores médios da quantidade de nitrogênio (N) (g kg^{-1}) na florescência, na folha e no colmo das plantas de milho na fase VT submetidas às diferentes adubações. Para cada variável avaliada, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.....	22
Figura 3. Valores médios da quantidade de nitrogênio (N) (g kg^{-1}) na folha, no colmo e no grão das plantas de milho na fase R6 submetidas às diferentes adubações. Para cada variável avaliada, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.....	23

LISTA DE TABELAS

	p.
Tabela 1. Análise química e física do solo antes da implantação do experimento.....	17
Tabela 2. Componentes de produtividade do milho em relação a diferentes tratamentos.....	20
Tabela 3. Valores médios de macronutrientes avaliados na folha, colmo, inflorescência e grãos de milho submetidos aos diferentes tratamentos.....	25
Tabela 4. Valores médios do acúmulo total de nitrogênio na planta de milho nas fases VT e R6 e remobilização do nitrogênio submetido aos diferentes tratamentos..	27
Tabela 5. Eficiência agronômica, eficiência de absorção, eficiência de utilização e eficiência de recuperação do nitrogênio nos diferentes tratamentos.....	29

INTRODUÇÃO

A região leste maranhense localiza-se entre o complexo Amazônico e o Semiárido, com características edafoclimáticas específicas que divergem do restante do país. Por esse motivo, as práticas empregadas nas outras regiões produtoras do Brasil, como a saturação do solo com fertilizantes solúveis e a aração e a gradagem, não se adaptam à região leste maranhense, o que faz com que os produtores do trópico úmido necessitem de técnicas para trabalhar de maneira sustentável nos solos considerados de baixa fertilidade natural, por serem solos altamente intemperizados, com estrutura frágil, baixa disponibilidade de nutrientes e, na sua maioria derivarem de rochas sedimentares clásticas, e serem constituídos predominantemente de areia fina e silte (AGUIAR et al., 2010).

Esses solos apresentam ainda baixa eficiência do uso de nutrientes, principalmente daqueles exigidos em grande quantidade pelas culturas, como nitrogênio (N) e potássio (K), o que dificulta muito a viabilidade econômica da agricultura e, segundo Aguiar et al. (2010) a baixa eficiência é causada por dois fatores principais: 1) a coesão dos solos, devido aos ciclos repetitivos de umedecimento-secagem, que reduz consideravelmente o volume do solo enraizável e, conseqüentemente, a absorção de nutrientes e; 2) a alta remoção de nutrientes do perfil, especialmente K, uma vez que esses solos têm uma baixa capacidade de retenção de cátions e estão situados em uma região que apresenta uma precipitação intensa.

Devido à baixa renda familiar aliada à falta de conhecimento de tecnologias propícias para a implantação de uma agricultura sustentável, ainda predomina na região a agricultura de corte e queima que consiste na limpeza da área a ser cultivada e do uso das cinzas como fertilizante, prática que durante muito tempo foi útil pela vasta quantidade de áreas disponíveis e pela baixa densidade demográfica (MOURA et al., 2008; AGUIAR et al., 2009).

Com o crescimento acelerado da população, tem aumentado a demanda por áreas cultiváveis fazendo com que o tempo de pousio entre as queimadas sucessivas da agricultura de corte e queima fique cada vez mais curto, tornando-se necessária a troca desse modelo de agricultura por um novo que maximize a produção de alimentos na mesma área, que reduza a necessidade de *inputs* externos, uso dos recursos naturais e contemple a completa regeneração dos ecossistemas (MOURA et al., 2013).

Esse modelo pode ser substituído pelo plantio direto na palha de leguminosas, cujas vantagens são de contribuir para os incrementos de produtividade em solos tropicais,

pois permite: a reciclagem de nutrientes, melhora a qualidade dos indicadores físicos do solo, aumenta a capacidade de aeração, reduz o impacto causado pelas gotas de chuva e fornece moderadas quantidades de nutrientes. Ademais, a adição de resíduos de plantas como cobertura do solo também diminui a resistência à penetração e aumenta o conteúdo de água no solo porque conserva a umidade e reduz as perdas por evaporação (MOURA et al., 2013).

Além do plantio direto na palha de leguminosas, outras práticas são necessárias para aumentar o sistema radicular em profundidade e conseqüentemente aumentar a absorção de nutrientes, tal qual o uso de substâncias húmicas, como ácido húmico e adição de adubos minerais.

Portanto, este trabalho parte da hipótese que existe um sinergismo entre a adubação feita com aplicação da palha da leguminosa leucena e a aplicação de nitrogênio mineral em conjunto com o ácido húmico, o que melhora a absorção e assimilação desse nutriente pela cultura do milho.

Os objetivos com esse estudo foram: (1) avaliar o efeito da utilização de cobertura com biomassa da leguminosa leucena associada ao adubo mineral e o ácido húmico sobre a eficiência do uso de nitrogênio; (2) avaliar o desempenho agrônômico da variedade de milho QPM BR 473 sob as diferentes formas de adubação nitrogenada.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 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, 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 nitrogênio (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, et al, 2013).

A utilização de leguminosas arbóreas além de ser uma alternativa ao sistema de corte e queima muito utilizado pelos agricultores familiares maranhenses, apresenta praticidade diante das condições climáticas dos trópicos úmidos. A temperatura e a precipitação pluvial dessa região possibilitam 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 – físicos, químicos e biológicos - simultaneamente com cultivo na área (MOURA et al., 2013).

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. 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 (MOURA et al., 2010).

A adubação verde com ramos podados de leucena (*Leucaena leucocephala*) pode ser uma fonte útil de N para as plantas, mas a substituição integral do adubo inorgânico precisa ser adequadamente avaliada. Segundo Sileshi et al. (2014), 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.

2.2 Eficiência do Uso de Nutrientes (EUN)

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. 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 (SAMUEL & EBENEZER, 2014).

Dessa forma, a eficiência de uso de nutrientes (EUN) é a relação entre produtividade e a quantidade disponível do elemento mineral, quer ele seja fornecido pelo

próprio solo ou pela fertilização (HIREL et al., 2011). A EUN pode ser analisada a partir de três fatores: 1) a eficiência agrônômica, que mede a produção de grãos por kg de N (nitrogênio) aplicado; 2) a eficiência econômica, caracterizada pela relação entre os investimentos em fertilizantes e o retorno econômico por conta dos incrementos de produtividade e, por isso, varia em função do preço dos produtos agropecuários, do preço do petróleo e insumos, etc.; e 3) a eficiência ambiental, relacionada ao nível de dano ecológico causado ao solo, ao clima, aos ciclos biogeoquímicos e às águas pela perda dos nutrientes aplicados (FAGERIA, 2007).

Na periferia da Amazônia Maranhense dois fatores reduzem a eficiência de uso dos nutrientes nos solos: 1) a coesão, causada por ciclos repetitivos de umedecimento-secagem-umedecimento em solos com baixos teores de carbono orgânico e ferro livre, que reduz consideravelmente a enraizabilidade e, conseqüentemente, a absorção de nutrientes; e 2) a alta remoção de bases do perfil, uma vez que esses solos têm uma baixa capacidade de retenção de cátions e estão situados em uma região de alta pluviosidade (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, classe do solo e precipitação pluvial, determinando o nível da eficiência de N aplicado (XU et al., 2013).

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. No trópico úmido esse processo está presente nos períodos de maior precipitação pluvial, principalmente em solos de baixa condutividade hidráulica (MOURA et al., 2013).

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. (2010) 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 foi uma estratégia que proporcionou uma redução de 60, 75 e 50% das perdas por lixiviação de N, P e K, respectivamente. Além disto, aumentou a absorção e recuperação desses nutrientes, o que resultou em maior rendimento do milho.

Segundo Constatin et al. (2015), 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.

Para uma melhor eficiência no uso de nutrientes é necessário que se utilize tecnologias que melhorem as condições físicas, químicas e biológicas do solo, sendo o sistema de plantio direto na palha de leguminosas, de grande relevância na redução dos gastos com fertilizantes e na sustentabilidade agrícola. As modificações no uso da terra são capazes de afetar a fertilidade do solo e a EUN, por meio da alteração de uma série de propriedades físicas (densidade, porosidade e enraizabilidade), químicas (bases trocáveis, pH e saturação por bases) e biológicas (biota do solo, microbiota do solo, matéria orgânica) (QUINKENSTEIN et al., 2012).

A adição de cobertura no solo proveniente do plantio direto na palha de leguminosas gera um efeito benéfico devido à aplicação contínua de biomassa, promovendo a formação de uma “estrutura efêmera” que aumenta a capacidade de retenção de água e melhora a sua capacidade de reciclar e reter nutrientes na camada superficial (MOURA et al., 2009). Com essa cobertura ocorre um retardo da perda de umidade, diminuindo assim, a coesão por amenizar os efeitos dos ciclos de umedecimento-secagem-umedecimento e evita a recompactação, o que melhora a enraizabilidade, a aeração, a infiltração e, conseqüentemente, a EUN (MOURA et al., 2008).

2.3 Absorção e 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 (BRASIL et al., 2012).

Para a produtividade de uma tonelada de grãos de milho, a planta necessita absorver aproximadamente 21 kg ha⁻¹ de N, sendo que cerca de 75% da quantidade absorvida são exportadas pela colheita dos grãos (DORDAS et al., 2013). Esses autores observaram que o teor 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 de N das folhas mais velhas e das raízes para as folhas mais jovens e partes reprodutivas é outro mecanismo de grande importância para a EUN na cultura do milho, sendo uma resposta fisiológica à deficiência do nutriente no solo. As folhas funcionam como dreno de N durante o estágio vegetativo e mais tarde, no estágio reprodutivo, o elemento acumulado é remobilizado para o desenvolvimento dos grãos. Essa remobilização de N dos órgãos vegetativos para as espigas é resultante da degradação da clorofila e ocorre durante a antese e o enchimento de grãos, o que explica a clorose típica das folhas mais velhas da cultura de milho no período de colheita (KANT et al., 2011).

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 (HODGE & STORER, 2015).

Segundo Carvalho, et al (2012), para que haja remobilização dos nutrientes assimilados e estocados nos tecidos para os grãos, a planta deve iniciar o processo de senescência.

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 em plantas de trigo.

2.4 Ácido húmico

Entre as fontes de matéria orgânica aplicáveis na agricultura, o uso do húmus produzido pelas minhocas tem sido visto como uma alternativa de grande sustentabilidade, pois é um material rico em nutrientes utilizáveis pelas plantas, podendo ser ainda usado como corretivo e condicionador das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Atuando como fertilizante natural, esse húmus neutraliza o pH da terra e eleva a concentração de

nutrientes, aumentando a resistência das plantas contra pragas e doenças. Em decorrência, diminui a necessidade da adubação química e do uso de agrotóxicos. O húmus de minhoca é tradicionalmente conhecido como vermicomposto que é um material humificado através do metabolismo da minhoca e apresenta em sua composição as substâncias húmicas (GARCIA et al., 2016).

Partindo da maior formação de raízes e da maior disponibilidade de nutrientes, as substâncias húmicas promovem o princípio da trofobiose que reflete a maior produtividade e resistência das plantas que são melhores nutridas. Desta maneira, nas substâncias húmicas estão as frações mais importantes do ponto de vista agrícola, uma vez que elas irão promover todos os benefícios desejados para o aumento da produtividade e da qualidade dos produtos cultivados (MELO et al., 2015).

As substâncias húmicas (SH) compreendem uma mistura de espécies com variações em suas propriedades moleculares. Por esta razão, tem sido feito o fracionamento das SH de acordo com suas propriedades para obter frações distintas com características similares. Geralmente esse material é fracionado em função de sua solubilidade em três principais frações: ácidos húmicos - fração solúvel a pH alcalino e insolúvel em pH fortemente ácido, ácidos fúlvicos - solúvel em todo intervalo de pH e huminas - fração residual e insolúvel em meio aquoso em qualquer valor pH (GARCIA et al., 2016). De acordo com Baldotto et al. (2012), a aplicação de ácido húmico (AH) isolado de vermicomposto, durante a aclimação do abacaxizeiro, resultou em incrementos significativos no crescimento e desenvolvimento das plantas em relação ao controle. Acredita-se que grande parte dos efeitos bioestimulantes dos AH se deve a uma atividade similar à de hormônios vegetais da classe das auxinas, ou seja, podem promover o crescimento vegetal em concentrações relativamente pequenas. Nesse mesmo trabalho foi observado aumento nos conteúdos nutricionais N, P, K, Ca e Mg, aumento nos teores de pigmentos fotossintéticos e um acréscimo significativo na razão entre clorofila a e clorofila b.

A aplicação foliar de solução de AH em diversas culturas, tais como arroz, trigo (Delfine et al., 2013) e videira (Ferrara & Bruneti, 2014) também promoveu o crescimento dessas culturas. Chen et al (2013), demonstraram a influência dos AH no comprimento de brotos e raízes no cultivo de melão em solução nutritiva, indicando a presença de efeito interativo entre os AH e nutrientes da solução. O nível ótimo da concentração dessas substâncias foi de 37 mg L⁻¹. Pires et al. (2009) demonstraram que os ácidos húmicos

influenciaram no aumento e na velocidade das taxas de germinação e de crescimento precoce de mudas de tomate, cultivadas em solução nutritiva.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização, Clima e Solo

O experimento foi conduzido no povoado Acampamento (Figura 1), localizado no município de Brejo-MA, Brasil (3° 38' de latitude sul e 42° 58' de longitude oeste). O clima do município é o tropical úmido, a temperatura média anual é superior a 27 °C, com máximas de 38 °C e mínimas de 21 °C e precipitação anual média de 1.200 a 1.400 mm. O solo da área foi classificado como Latossolo Amarelo Distrocoeso, apresentando topografia plana (inclinação <1%) (EMBRAPA, 2013).

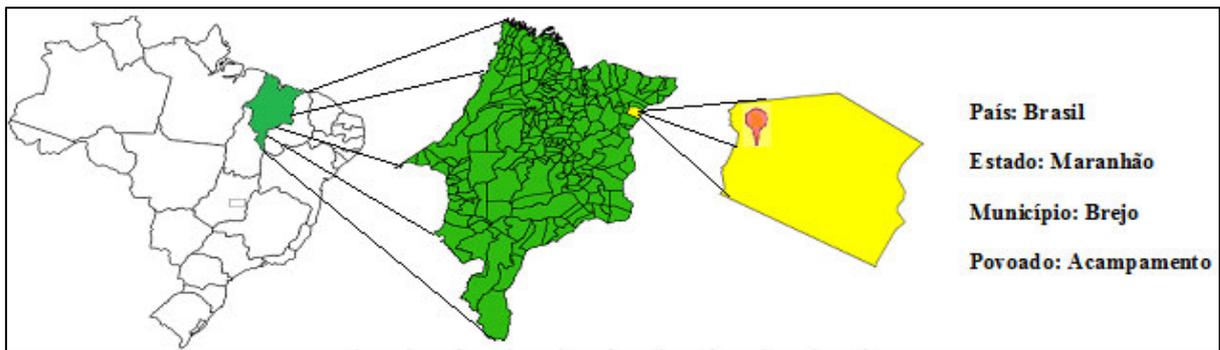


Figura 1. Localização da área de estudo (FONTE: MACEDO, 2014).

3.2 Instalação da área experimental

A área instalada no ano de 2012 consta de um sistema de cultivo em aléias com a leguminosa arbórea *Leucaena leucocephala*, semeada no espaçamento de 4,0 m entre linhas e 0,5 m entre plantas. Foi realizada coleta de solo na profundidade de 0-20 cm antes da realização do experimento para caracterização química e física da área (Tabela 1).

Tabela 1. Análise química e física do solo antes da implantação do experimento.

Profundidade	MO	pH	P	K	Ca	Mg	H + Al	Al	SB	CTC	V%	Classe textural
0 – 0,2 m	gkg ⁻¹	(CaCl ₂)	(resina) mg dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³								
	26,7	4,4	36,6	0,10	2,56	0,50	4,70	0,20	3,16	7,86	40,2	Arenosa

No início do período chuvoso do ano de 2015 foi semeado entre as fileiras da leguminosa leucena, o milho (*Zea mays* L.) variedade QPM (*Quality Protein Maize*) BR 473 em 03 de março de 2015. No delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições, foram testados seis tratamentos: 60 kg ha⁻¹ de Nitrogênio (N), na forma de uréia; 60 kg ha⁻¹ de N aplicado via biomassa de leucena (L); 60 kg ha⁻¹ de N via uréia + 60 kg ha⁻¹ de N via leucena (N + L); 500 L ha⁻¹ de ácido húmico + 60 kg ha⁻¹ de N via leucena (AH + L); 500 L ha⁻¹ de ácido húmico + 60 kg ha⁻¹ de N via uréia (AH + N) e 500 L ha⁻¹ de ácido húmico + 60 kg ha⁻¹ de N via uréia + 60 kg ha⁻¹ de N via leucena (AH + N + L). O ácido húmico foi aplicado via foliar com auxílio de um equipamento pressurizador costal. Todos os tratamentos receberam 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 60 kg ha⁻¹ de K₂O e 25 kg ha⁻¹ de ZnSO₄. Somente nos tratamentos com ureia foram aplicados aos 15 e 45 dias após o plantio do milho no estágio de quatro e oito folhas, respectivamente, às adubações de cobertura com 133 kg ha⁻¹ de uréia.

Cada parcela experimental de 4 x 10 m foi constituída de 166 plantas em cinco fileiras, espaçadas de 0,8 m entre si e 0,3 m entre plantas. Em cada parcela, as duas fileiras laterais e 1,0 m de cada extremidade das duas fileiras centrais serviram como bordadura, totalizando 80 plantas úteis. A área total utilizada para a instalação do experimento foi 960 m².

3.3 Análises feitas na Cultura do Milho

As plantas de milho foram coletas em duas épocas de desenvolvimento da cultura do milho, a primeira coleta de plantas foi realizada no período da antese (fase VT) e, a segunda coleta, quando a planta de milho atingiu o estágio de maturidade fisiológica (R6).

Por ocasião tanto do florescimento quanto da maturidade fisiológica, foram retiradas três plantas por parcela a 5 cm da superfície do solo de modo manual, dividindo-as em três frações: folhas, colmos e inflorescências no estágio VT e folhas, colmos e espigas na fase R6. Ambos os materiais foram postos para secar em estufa de circulação forçada de ar a 60 °C durante 5 dias, em seguida foram moídos em moinho tipo Wiley com facas e câmara de

ação inoxidável e com peneira de 1mm de diâmetro (40 *mesh*). Uma subamostra de 0,2 g do material vegetal moído foi submetida à digestão sulfúrica para a quantificação do teor de N total, pelo método de Kjeldahl e determinado por titulação com H₂SO₄ a 0,05N, conforme descrição da metodologia de Tedesco et al. (1995). Outra subamostra de 0,2 g foi submetida à digestão nítrico-perclórica, conforme Tedesco et al. (1995), para determinação do teor de P, K, Ca e Mg.. Exceto o N, os demais macronutrientes foram dosados pelo método de Espectrometria de Emissão Óptica em Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES) VARIAN modelo 720ES. Foram determinados os componentes de produtividade: peso das espigas, peso de 100 grãos e produção de grãos. A produção de grãos foi calculada a partir da massa total de grãos em cada parcela útil e a massa de 100 grãos foi determinada com pesagem em balança de precisão. Os grãos foram selecionados aleatoriamente de dez espigas coletadas dentro de cada parcela útil.

Conforme metodologia proposta por Fageria e Baligar (2005), foi possível calcular a remobilização e eficiência do nitrogênio utilizando as seguintes fórmulas:

- a) Nitrogênio Remobilizado (NR, em kg ha⁻¹) = estoque de nitrogênio nas folhas e colmo na antese – estoque de nitrogênio nas folhas e colmo na maturação.
- b) Acúmulo de Nitrogênio Pós-Antese (ANPA, em kg ha⁻¹) = acúmulo de nitrogênio na planta inteira na antese – acúmulo de nitrogênio na planta inteira na maturação.
- c) Acúmulo de Nitrogênio na Planta (ANP, kg ha⁻¹) = acúmulo de nitrogênio na folha + acúmulo de nitrogênio no colmo + acúmulo de nitrogênio no grão.
- d) Eficiência de Recuperação do Nitrogênio (ERN, %) = [(conteúdo de nitrogênio nas folhas, colmos e grãos das plantas fertilizadas – conteúdo de nitrogênio nas folhas e colmos da testemunha) x 100] / quantidade de nitrogênio aplicado.
- e) Eficiência Agronômica do Nitrogênio (EAN, kg kg⁻¹) = (Produção de grãos das plantas fertilizadas – produção de grãos da testemunha) / quantidade de nitrogênio aplicado.
- f) Eficiência na Absorção do Nitrogênio (EAB, kg kg⁻¹) = quantidade de nitrogênio total na planta na maturidade / quantidade de nitrogênio aplicado no solo.

g) Eficiência na Utilização do Nitrogênio (EUN, kg kg^{-1}) = massa de grãos / quantidade de nitrogênio total da planta na maturidade.

3.4 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade (Cramer Von-Mises) e de homocedasticidade (Levene). Todas as variáveis avaliadas apresentaram normalidade e homocedasticidade de variância. Não houve a necessidade de transformação dos dados.

Sendo acatadas essas pressuposições foram submetidos à análise de variância e suas médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, com o auxílio do software INFOSTAT.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Componentes da produtividade do milho

Com exceção do peso de 100 grãos, todos os componentes de produtividade do milho apresentaram diferença entre os tratamentos com adubação mineral e biomassa da leguminosa, daqueles que receberam somente a biomassa da leguminosa (Tabela 2). O tratamento N+L apresentou maior peso de espigas e produtividade comparado aos tratamentos AH + L e L. De maneira geral, os tratamentos caracterizados pelo aporte de biomassa e adubação mineral alcançaram maior produtividade que os tratamentos que receberam apenas pela aplicação de biomassa.

Esses resultados sugerem que não houve uma sincronia entre a liberação do nitrogênio adicionado apenas pela leguminosa leucena e as necessidades da cultura, de forma que as quantidades mineralizadas ao longo do ciclo de cultivo foram suficientes para atender apenas parte da demanda do cultivar. Segundo Sileshi et al. (2014) 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, principalmente quando se utiliza apenas a leucena como fonte de adubação. Moura et al., (2010) afirmam que no trópico úmido, o uso somente da leucena não é recomendada para a cobertura do solo devido à sua acelerada decomposição. Em contraste, por se tratar de um resíduo de alta qualidade, possui papel importante na adubação verde e pode substituir entre 50 a 75% a necessidade de N do milho (SILESHI et al. 2014). Sendo assim, o uso combinado de

adubação verde com biomassa de leucena mais uréia resulta em maior eficiência no uso de N e, conseqüentemente maior produtividade de milho.

Tabela 2. Componentes de produtividade do milho em relação a diferentes tratamentos.

Tratamentos	Peso de espigas (g/espiga)	Produtividade de grãos (kg/ha)	Peso de 100 grãos (g)
N+L	134,63a	5385a	26,50a
AH+N+L	122,45a	4617a	25,66a
AH+N	106,17a	4025a	25,13a
N	105,91a	3935a	26,75a
AH+L	42,61b	1600b	23,19a
L	42,54b	1472b	17,84a

N + L = uréia + leucena; AH + N + L = ácido húmico + uréia + leucena; AH + N = ácido húmico + uréia; N = uréia; AH + L = ácido húmico + leucena; L = leucena. Médias seguidas das mesmas letras na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Portanto, o plantio direto na palha da leguminosa leucena pode reduzir de maneira significativa à necessidade de adubos nitrogenados, pois a sua biomassa pode ser uma fonte expressiva de N e promover ao solo potencial para melhorar a fertilidade em longo prazo. Porém, as baixas eficiências de utilização do N orgânico devido à acelerada decomposição dos seus resíduos tornam a fertilização mineral complementar fundamental para que o potencial produtivo da cultura seja plenamente atingido (OKOGUN et al., 2013).

De acordo com Aguiar et al. (2010) o incremento em produtividade observado nos sistemas de plantio direto na palha de leguminosas é um reflexo da melhoria das qualidades do solo, pois os resíduos de leguminosas aumentam a capacidade de aeração, melhoram a eficiência de absorção de nutrientes e garantem uma melhor distribuição e manutenção das bases na rizosfera, no entanto, esse incremento só é otimizado com adubação mineral complementar.

Em relação ao ácido húmico (AH) os resultados indicam que ele não proporcionou diferenças estatísticas nos componentes da produtividade, no entanto, pode ter contribuído para a pequena variação entre as médias encontradas, pois Baldotto et al. (2012) acreditam que os AH possuem efeitos bioestimulantes devido a uma atividade similar à de hormônios vegetais da classe das auxinas, ou seja, podem promover o crescimento vegetal em concentrações relativamente pequenas por melhorar a absorção de água e de nutrientes e pelo

efeito promotor de enraizamento. Outros autores, como Delfine et al. (2013) e Ferrara & Bruneti (2014) observaram que a aplicação foliar de solução de AH em diversas culturas, tais como arroz, trigo e videira também promoveu o crescimento dessas culturas.

Outro fator importante que pode justificar a baixa contribuição do ácido húmico para a produtividade do milho é a época de aplicação, para a presente investigação a aplicação ocorreu após o estágio de 8 folhas. Em experimento desenvolvido por Marques Junior (2010) que avaliou a época de aplicação de ácido húmico mais adequada para a cultura do milho foi observado com os dados obtidos que o estágio fenológico da planta influencia na capacidade do ácido húmico em proporcionar aumento de produtividade, levando ao potencial produtivo a aplicação feita até o segundo estágio de desenvolvimento do milho. Para ele, o conhecimento da época mais adequada de fornecimento de AH na lavoura de milho é imprescindível ao desenvolvimento de estratégias de manejo que aumentem o seu aproveitamento.

4.2 Teores de Nitrogênio (N) e demais macronutrientes na folha, colmo e grãos do milho na antese e maturação

Os teores de nitrogênio nas frações das plantas de milho (inflorescência e folha) na antese variaram em relação à fonte de adubo, já para o colmo não houve diferença estatística (Figura 2). As quantidades de nitrogênio na inflorescência e nas folhas foram superiores aquelas observadas nos colmos.

Para todas as frações das plantas, as médias dos tratamentos com uréia (entre 45,47 g kg⁻¹ na inflorescência, 44,73 g kg⁻¹ na folha e 12,99 g kg⁻¹ no colmo) foram superiores aqueles que receberam somente biomassa da leguminosa leucena que obteve médias de 30,79 g kg⁻¹, 16,65 g kg⁻¹ e 11,68 g kg⁻¹ na inflorescência, na folha e no colmo, respectivamente. Esse fato se justifica, segundo Moore et al. (2011), pela leucena ter uma rápida mineralização de seus resíduos ocasionada pela baixa razão C/N, pelos conteúdos de lignina e polifenóis serem abaixo de 15% e 4% e pelas altas temperaturas. Isto ocasiona a liberação rápida dos nutrientes, o que não é vantajoso, por favorecer a falta de sincronia entre a mineralização e as necessidades paulatinas da cultura.

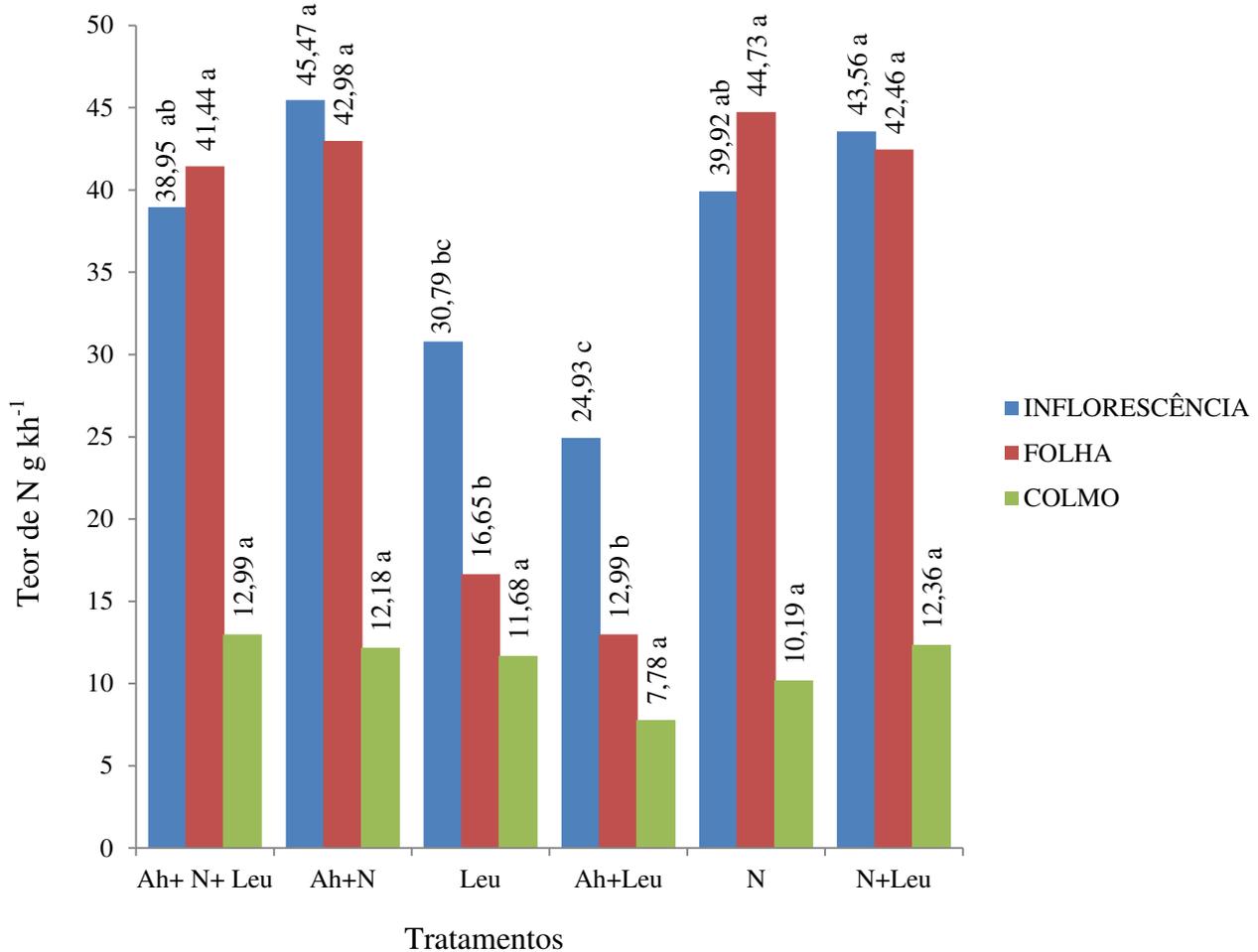


Figura 2. Teores de nitrogênio (N) (g kg^{-1}) na inflorescência, na folha e no colmo das plantas de milho na fase VT submetidas às diferentes adubações. Para cada variável avaliada, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Os teores de nitrogênio nas frações das plantas de milho (folhas, colmos e grãos) não apresentou diferença estatística entre os tratamentos (Figura 3). O N quantificado nos grãos de milho colhidos no estágio R6 de maturação foi superior àqueles observados nas folhas e nos colmos (Figura 3).

Esses resultados estão de acordo com Dordas et al. (2013), segundo esses autores o conteúdo de N nos tecidos vegetais diminui quando a planta passa da antese para a fase de maturação e indica que houve remobilização de N dos tecidos vegetais para os grãos. As médias dos teores de N nos grãos não foram de grande variação em função dos distintos tratamentos, ficando os valores entre 16,15 e 26,50 g kg^{-1} . No geral, na maioria dos tratamentos, os teores foram superiores aqueles descritos como adequados (17 g kg^{-1}) por Raij et al. (1996).

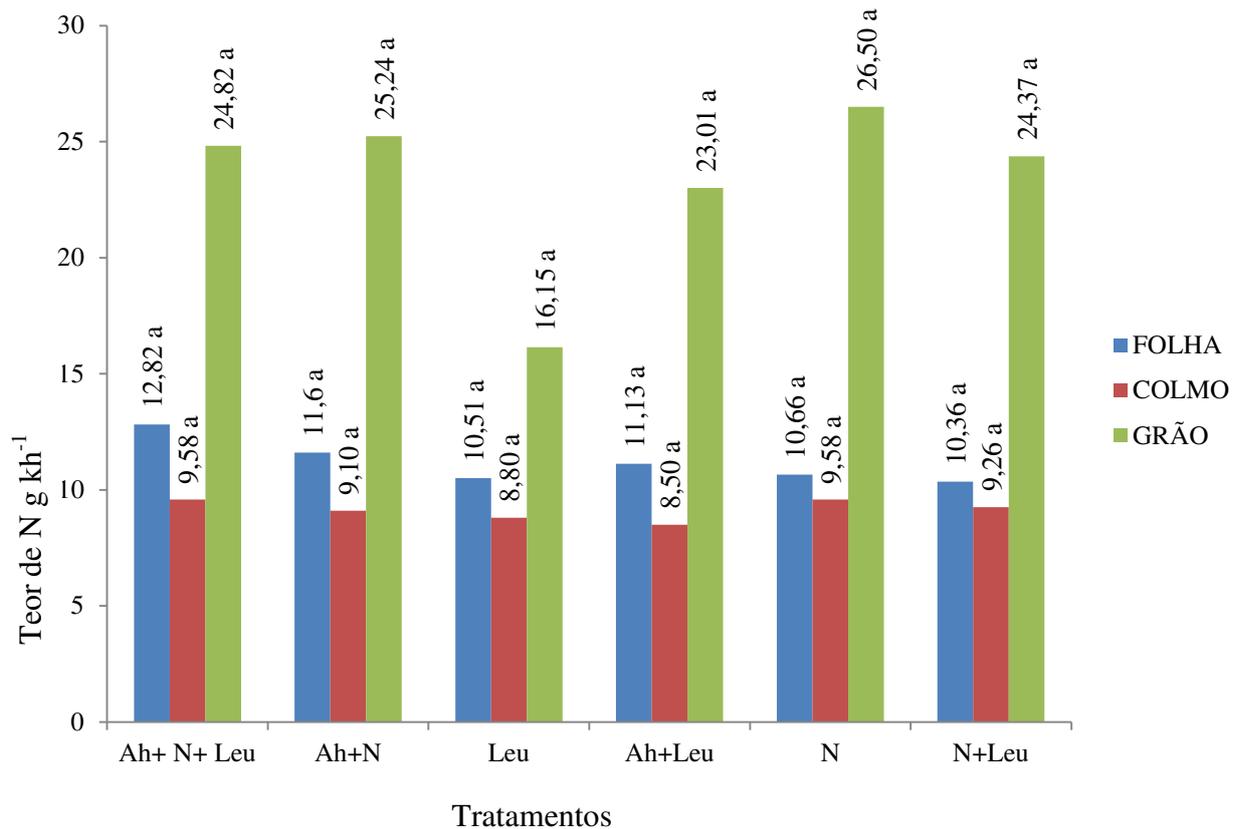


Figura 3. Teores de nitrogênio (N) (g kg^{-1}) na folha, no colmo e no grão das plantas de milho na fase R6 submetidas às diferentes adubações. Para cada variável avaliada, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Os tratamentos avaliados resultaram em variação nos teores de fósforo (P) nas fases VT e R6, exceto para a fração folha na antese. Os maiores teores encontrados foram no tratamento com ácido húmico, uréia e leucena, $4,94 \text{ g kg}^{-1}$ na inflorescência e com uréia e leucena, $3,25 \text{ g kg}^{-1}$, no grão (Tabela 3). Esse fato é explicado por Melo et al (2004) que afirma que o suprimento deste nutriente no solo pode ter aumentado, quando o fósforo orgânico proveniente da decomposição da leucena foi também disponibilizado, repercutindo assim, em maior assimilação para as partes reprodutivas do milho.

Os teores de potássio (K) nas mesmas fases apresentaram diferenças entre os tratamentos, com exceção da inflorescência e dos grãos, nos quais os teores foram estatisticamente iguais. O K nas folhas no período VT, no tratamento com uréia e leucena (N + L), somente uréia (N) e somente leucena (L) apresentaram maiores teores, para o mesmo período, nos colmos as médias dos teores foram mais elevadas nos tratamentos com leucena (L) e uréia com leucena (N + L). Para o período de R6, as folhas apresentaram melhores

resultados no tratamento uréia e leucena (N + L) e os colmos no tratamento com leucena (L) (Tabela 3).

Observou-se que os tratamentos estudados não aumentaram os teores de Mg e Ca tanto nas folhas quanto nos colmos, na inflorescência e nos grãos das plantas de milho (Tabela 3).

Tabela 3. Macronutrientes na folha, colmo, inflorescência e grãos de milho submetidos aos diferentes tratamentos.

Tratamentos	Antese (VT)				Maturação (R6)			
	Folha				Folha			
	P	K	Mg	Ca	P	K	Mg	Ca
-----g kg ⁻¹ -----				-----g kg ⁻¹ -----				
L	2,33a	26,83a	2,11d	1,89d	0,87ab	8,21b	3,51a	5,07a
N+L	2,97a	26,47a	6,31b	7,71a	0,96a	9,76a	4,87a	6,79a
N	2,74a	23,19ab	8,46a	7,41a	0,31c	2,94e	4,68a	5,48a
AH+L	1,89a	19,47bc	4,54bc	3,96c	0,52bc	6,30c	4,42a	4,89a
AH+N+L	2,58a	17,28c	5,22b	4,95bc	1,14a	8,24b	3,40a	4,92a
AH+N	2,23a	16,53c	3,12cd	6,55ab	0,46c	4,78d	3,44a	4,87a
	Colmo				Colmo			
L	2,26a	22,72a	4,05bc	1,14b	2,05a	22,81a	3,43a	1,12a
N+L	1,23c	20,60a	5,84a	1,66b	1,00c	20,32a	3,68a	1,89a
N	1,30c	9,22b	3,35c	2,16b	1,02c	9,61b	3,21a	1,11a
AH+L	1,97b	21,53a	4,21bc	0,72b	1,41b	9,18b	3,88a	1,37a
AH+N+L	2,06ab	22,53a	4,09bc	7,54 ^a	1,95a	10,89b	3,42a	1,33a
AH+N	1,28c	11,91b	5,09ab	1,45b	1,08c	7,69b	5,04a	1,24a
	Inflorescência				Grãos			
L	3,16bc	10,44a	1,01b	1,17a	3,06ab	7,07a	1,42a	0,67a
N+L	4,01abc	11,44a	2,56a	1,16a	3,25ab	6,36a	1,59a	0,64a
N	4,24ab	10,23a	2,79a	1,12a	3,43a	5,02a	1,34a	0,77a
AH+L	2,85c	9,24a	1,04b	1,08a	2,54ab	7,05a	1,39a	0,54a
AH+N+L	4,94a	10,06a	2,80a	1,62a	2,11b	7,52a	1,33a	0,52a
AH+N	4,32ab	8,06a	1,00b	1,47a	2,19b	9,29a	1,35a	0,50a

P = fósforo; K = potássio; Mg = magnésio; Ca = cálcio. Tratamentos: N + L = uréia + leucena; N = uréia; AH + N = ácido húmico + uréia; AH + N + L = ácido húmico + uréia + leucena; L = leucena; AH + L = ácido húmico + leucena. Médias seguidas das mesmas letras na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05).

4.3 Acúmulo e Remobilização do nitrogênio no milho

O acúmulo de nitrogênio na planta toda de milho na antese (ANPa) e o nitrogênio remobilizado (NR) apresentaram diferenças entre os tratamentos com uréia e os tratamentos com leucena. Quanto ao acúmulo de nitrogênio pós-antese (ANPA) e o acúmulo de nitrogênio na planta toda de milho na maturação (ANPR6) não foram evidenciadas diferenças estatísticas entre os tratamentos (Tabela 4).

Quando avaliado o acúmulo de nitrogênio nos tratamentos e nas épocas de análise, obtiveram-se bons valores com uso conjunto de uréia e leucena em ambas as épocas de desenvolvimento da cultura. Esse acúmulo de N afetou diretamente o rendimento e a qualidade dos grãos colhidos, neste estudo as maiores produtividades encontradas foram no tratamento que continha a uréia e a leucena juntas (5385 kg ha^{-1}). Segundo Carvalho et al., (2012), o uso combinado de fontes de adubos sintéticos e orgânicos pode favorecer acúmulos de N durante todas as fases de desenvolvimento da planta, refletindo em níveis altos de produtividade. MI et al. (2007) também corroboram esta afirmativa ao assegurarem existir uma relação positiva entre a acumulação de N e a qualidade dos grãos para a cultura do milho, de forma que o N total acumulado no estágio vegetativo é mais importante que a eficiência fisiológica, em condições de disponibilidade do elemento.

Os dados de remobilização indicam que a disponibilidade do nutriente foi mantida durante o período de enchimento de grãos para todos os tratamentos com uréia, principalmente naqueles que receberam juntamente com a uréia, a biomassa da leguminosa leucena, o que está de acordo com os dados de acúmulo de N após o pendoamento. Pois esses tratamentos apresentaram grande quantidade do elemento em seus tecidos durante os estádios fenológicos finais.

Embora as plantas nos tratamentos com a leucena, sem a uréia tenham sido submetidas a uma disponibilidade de nitrogênio sem sincronia com o desenvolvimento da cultura, em virtude da acelerada decomposição da biomassa da leguminosa, pouco do elemento foi remobilizado devido à pequena quantidade acumulada nas partes vegetativas, durante os estádios fenológicos iniciais, que pôde ser usada como reserva para o enchimento dos grãos.

Tabela 4. Valores médios do acúmulo total de nitrogênio na planta de milho nas fases VT e R6 e remobilização do nitrogênio submetido aos diferentes tratamentos.

Tratamentos	ANPa (kg ha ⁻¹)	ANPR6 (kg ha ⁻¹)	NR (kg ha ⁻¹)	ANPA (kg ha ⁻¹)
AH+N	100,63a	66,62a	34,47a	45,93a
N+L	98,38a	63,60a	35,20a	43,98a
N	94,84a	66,98a	34,68a	46,74a
AH+N+L	93,38a	69,62a	32,03a	47,22a
L	59,11b	54,77a	4,27b	35,46a
AH+L	45,70b	62,25a	4,70b	42,63a

ANPa = Acúmulo de Nitrogênio na Planta toda na antese; ANPR6 = Acúmulo de Nitrogênio na Planta toda na maturação; NR = Nitrogênio Remobilizado; ANPA = Acúmulo de Nitrogênio Pós Antese. Tratamentos: N + L = uréia + leucena; N = uréia; AH + N = ácido húmico + uréia; AH + N + L = ácido húmico + uréia + leucena; L = leucena; AH + L = ácido húmico + leucena. Médias seguidas das mesmas letras na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05).

4.4 Eficiência do Uso do Nitrogênio pela a cultura do milho

A eficiência agronômica (EA), que expressa a relação entre a produção obtida por unidade de nutriente aplicado foi maior para o tratamento uréia e leucena (N + L), com média de 32,61 kg kg⁻¹ (Tabela 5). Essa média também foi maior que os valores encontrados por Macharia et al. (2011) que observaram valores de até 28,3 kg kg⁻¹ para a eficiência agronômica do nitrogênio em terras altas no Quênia e por Carvalho et al. (2011) que encontraram 11,78 kg kg⁻¹ no cerrado brasileiro. Algumas pesquisas afirmam que a adubação sintética associada à cobertura vegetal pode reduzir as perdas e aumentar a eficiência do uso de fertilizantes, aumentando o armazenamento de nutrientes no sistema solo-planta, além de promover a reciclagem de nutrientes (SOUSA & LOBATO, 2004). Isto mostra que a combinação entre esses dois fatores é promissora para o fornecimento de nitrogênio e, conseqüentemente aumento na produtividade nos solos do trópico úmido. Essa sincronia também pode ser confirmada pela maior eficiência de recuperação de nitrogênio (Tabela5).

Na presente pesquisa o milho não apresentou diferenças significativas à eficiência de absorção de N (EAB) quando submetida aos diferentes tratamentos, no entanto, o adubo mineral e a biomassa da leguminosa juntos foram determinantes para o aumento da produtividade (Tabela 5). Independentemente do tratamento, sabe-se que o nitrogênio é um dos nutrientes mais requeridos na fase inicial de desenvolvimento da planta, pois atua na

divisão celular e na produção de clorofila (EPSTEIN & BLOOM, 2006). Portanto, de acordo com os resultados é possível que a interação entre dois processos: a fertilização nitrogenada e a mineralização do N dos resíduos da leucena tenha ocasionado na maior parte do nitrogênio disponível e absorvido pelo milho.

Quanto à eficiência de utilização (EU) não houve diferenças entre os tratamentos. Já os valores de eficiência de recuperação do nitrogênio (ER) foram superiores nos tratamentos com fertilização via uréia, principalmente quando combinada com a biomassa da leguminosa leucena (Tabela 5). Pesquisas realizadas por outros autores, como a feita por Okogun et al. (2013) demonstraram que 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, especialmente para evitar a lixiviação de nitrato (NO_3) o que reflete em aumentos expressivos na produtividade do milho e aumento na fertilidade em longo prazo.

Além disso, o que também pode justificar as maiores eficiências de recuperação nos tratamentos com uréia foi a diminuição nas perdas por volatilização, lixiviação e desnitrificação do nitrogênio ocorridas devido a forma como a uréia foi aplicada ao solo, que nesta pesquisa ocorreu de forma parcelada aos 0, 15 e 45 dias após a germinação do milho e ainda, a primeira aplicação foi feita nos sulcos das linhas de plantio, sendo coberta por cerca de 5 cm de solo evitando que ficasse exposta na superfície. Uma investigação feita por Sitthaphanit et al. (2010) corrobora esta afirmativa, eles 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 e aumentou a absorção e recuperação desses nutrientes, o que resultou em maior rendimento do milho.

Tabela 5. Eficiência agronômica, eficiência de absorção, eficiência de utilização e eficiência de recuperação do nitrogênio nos diferentes tratamentos.

Tratamentos	EA -----kg kg ⁻¹ -----	EAB	EU %	ER %
N+L	32,61a	3,67a	38,44a	52,44a
AH+N+L	26,21ab	3,93a	37,94a	50,01a
AH+N	21,27b	3,83a	27,43a	48,83a
N	20,52b	3,90a	27,99a	48,44a
AH+L	13,34c	3,55a	27,21a	44,08b
L	-----	2,96a	25,96a	43,77b

EA = eficiência agronômica; EAB = eficiência de absorção; EU = eficiência de utilização; ER = eficiência de recuperação. Tratamentos: N + L = uréia + leucena; N = uréia; AH + N = ácido húmico + uréia; AH + N + L = ácido húmico + uréia + leucena; L = leucena; AH + L = ácido húmico + leucena. Médias seguidas das mesmas letras na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05).

5. CONCLUSÕES

O uso de biomassa da leucena é uma importante alternativa para o aumento da produtividade do milho, no entanto, para o trópico úmido não deve ser usada como única fonte de nutrientes.

As melhorias que a decomposição da biomassa da leucena causa nas características físico-químicas do solo provavelmente garantem uma melhor assimilação de adubos sintéticos pelo milho, principalmente aqueles que fornecem o nitrogênio.

Para esta investigação, com os dados das eficiências apresentadas principalmente as eficiências agronômica e de recuperação do nitrogênio, bem como o nitrogênio remobilizado e a produção de grãos, pode-se inferir que a combinação da biomassa de leucena com uréia foi a que apresentou maior produtividade, constatando que o uso dessas duas fontes de nitrogênio juntas em sistema de plantio direto é uma importante alternativa para os pequenos produtores do trópico úmido.

Portanto, o efeito da sincronia existente entre a liberação de nitrogênio pelas fontes orgânica e mineral foi perfeitamente comprovado pelos dados apresentados neste estudo, no entanto, a sinergia dessas fontes com o ácido húmico não ficou perfeitamente esclarecida.

Sendo assim, aumentar a eficiência de nutrientes pelas plantas através de novos mecanismos como a aplicação de ácidos húmicos pode ser um meio de melhorar a

produtividade. Entretanto, ainda é necessário conhecer melhor os mecanismos envolvidos neste processo para aperfeiçoá-los.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. C. F., et al. Environmental and agricultural benefits of a management system designed for sandy loam soils of the humid tropics. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1473-1480. 2009.
- AGUIAR, A.C. et al. Nutrient recycling and physical indicators of alley cropping system ins sandy loam in the pre-Amazon region of Brazil. **Nutrient Cycling In Agroecosystems**, v.86, p. 189-198, 2010.
- BALDOTTO, L.E.B. et al. Desempenho do abacaxizeiro 'Vitória' em resposta à aplicação de ácidos húmicos durante a aclimação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.4, p.979-990, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010006832009000400022&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 22 maio, 2015.
- BANCAL, P. Decorrelating source and sink determinism of nitrogen remobilization during grain filling in wheat. **Annals of Botany**. v. 103, p. 1315–1324, 2009.
- BRASIL, E. C., et al. Eficiência de fosfatos reativos em função de doses de P e índices de saturação por bases do solo e sua influência na produção de matéria seca de milho. 2012
- CARVALHO, R.P.; et al. Desempenho de cultivares de milho quanto à eficiência de utilização de nitrogênio. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.10, p.108-120, 2011.
- CARVALHO, C.A, et al. Eficiência de cultivares de milho na absorção e uso de nitrogênio em ambiente de casa de vegetação. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 6, p. 2125-2136, nov./dez. 2012.
- CONSTATIN, Julie, et al. Large-scale assessment of optimal emergence and destruction dates for cover crops to reduce nitrate leaching in temperate conditions using the STICS soil–crop model. **Europ. J. Agronomy** 69 (2015) 75–87 .
- CHEN, Y., et al. Mechanisms of plant growth stimulation by humic substances: The role of organo-iron complexes. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 50:1089-1095, 2013.
- DELFINE, S., et al. A. Effects of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat. *Agron. Sustain. Develop.*, 25:183-191, 2013.
- DORDAS, C.A., et al. Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture. **Sustainability**. 2013.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos / Humberto Gonçalves dos Santos ...** [et al.]. – 3 ed. rev. ampl. – Brasília, DF : Embrapa, 2013. 353 p.
- EPSTEIN E; BLOOM A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2ª ed. Londrina: Planta, 2006. p. 393.
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. **Advances in Agronomy**, v. 88, p. 97-185, 2005.

FAGERIA, N. K., et al. Produtividade de arroz irrigado e eficiência de uso do nitrogênio influenciadas pela fertilização nitrogenada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.42, n.7, p.1029-1034, 2007.

FERRARA, G. & BRUNETTI, G. Influence of foliar applications of humic acids on yield and fruit quality of table grape cv. Itália. *J. Intern. Sci. Vigne Vin.*, 42:79-87, 2014.

GARCIA, et al. Vermicompost humic acids modulate the accumulation and metabolism of ROS in rice plants. ***Journal of Plant Physiology***, 01/2016; 1(1):17. DOI: 10.1016/j.jpiph.2016.01.008. 2016.

HIREL B, et al. Improving nitrogen use efficiency in crops for a sustainable agriculture. *Sustainability* 3: 1452–1485. 2011.

HODGE & STORER. Arbuscular mycorrhiza and nitrogen: implications for individual plants through to ecosystems. ***Plant and Soil***. January 2015, Volume 386, Issue 1, pp 1-19.

INFOSTAT versão 2013. Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.

KANT, S. et al. Understanding plant response to nitrogen limitation for the improvement of crop nitrogen use efficiency. ***Journal of Experimental Botany***, v.62, n.4, p. 1499-1509, 2011.

MACHARIA, C.N. et al. Nutrient use efficiency and maize yield response to rate and mode of nitrogen application in the Kenya Highlands. ***East African Agricultural and Forestry Journal***, v.77, p.103-109, 2011.

MACEDO, V.R.A. **Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo e componentes de produtividade do milho em um Latossolo amarelo distrocoeso**, 2014, 70 f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia), Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, MA, 2014.

MARQUES JÚNIOR, Roberto Batista. Uso de ácidos húmicos e bactérias diazotróficas endofíticas na produção de milho e cana-de-açúcar / Roberto Batista Marques Júnior. – 2010. 93 f. : il. Orientador: Luciano Pasqualoto Canellas Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Campos dos Goytacazes, RJ, 2010.

MELO, G. W., et al. Fontes de potássio em solos distroférricos caulíníticos originados de basalto no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.28: p.597-603, 2004.

MELO, B.A.G. et al. Humic acids: Structural properties and multiple functionalities for novel technological developments. ***Mater. Sci. Eng., C*** (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.msec.2015.12.001>.

MI, G. et al. Physiological and genetic mechanisms for nitrogen-use efficiency in maize. ***Journal of Crop Science and Biotechnology***, v.10, n.2, p. 57-63, 2007.

MOORE, T.R. et al. Nature and nurture in the dynamics of C, N and P during litter decomposition in Canadian forests. ***Plant and Soil***, v.339, p. 163-175, 2011.

- MOURA, E G., et al. Growth and productivity of corn as affected by mulching and tillage in alley cropping systems. **Scientia Agricola**. v.65: p.204-8. 2008.
- MOURA, E. G., et al. Evaluating chemical and physical quality indicators for a structurally fragile tropical soil. **Soil and Use Management**, v.25, p. 368-375. 2009.
- MOURA, E.G. et al. Effectiveness of calcined rock phosphate and leucaena prunings as a source of nutrients for maize in a tropical soil. **Biological Agriculture & Horticulture**. <http://dx.doi.org/10.1080/01448765.2013.781486>, 2013.
- MOURA, E.G. et al. Nutrient use efficiency in alley cropping systems in the Amazonian periphery. **Plant and Soil**, v.35, p.363–371, 2010.
- OKOGUN, J. I.; NGO, L. T.; FOLK, W. R. 21st Century natural products research and drug development and traditional medicines. **Nat. Prod. Rep.**, v. 30, p. 584-592, 2013.
- PIRES, et al. Qualidade textural de tomates cultivados em substratos orgânicos submetidos à aplicação de substâncias húmicas. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.44, n.11, p.1467-1472, nov. 2009.
- QUINKENSTEIN et al. Biomass, Carbon and Nitrogen Distribution in Living Woody Plant Parts of Robinia pseudoacacia L. Growing on Reclamation Sites in the Mining Region of Lower Lusatia (Northeast Germany). **Plant and Soil**, v.35, p.382–390. 2012.
- RAIJ, B.V., et al. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: IAC, 1996. 285 p.
- SAMUEL & EBENEZER. Mineralization Rates of Soil Forms of Nitrogen, Phosphorus, and Potassium as Affected by Organomineral Fertilizer in Sandy Loam **Advances in Agriculture** Volume 2014 (2014), Article ID 149209, 5 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2014/149209>.
- SILESHI, G.W., et al Agroforestry: Fertilizer Trees. **Encyclopedia of Agriculture and Food Systems** 2014, Pages 222–234.
- SITTHAPHANIT, S., et al. Growth and Yield Responses in Maize to Split and Delayed Fertilizer Application on Sandy Soils Under High Rainfall Regimes. **Natural Sciences**. 44, 991-1003. 2010.
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado**. T. Yamada, S.R.S. Abdalla (Eds.), Fósforo na agricultura brasileira, Potafós, Piracicaba, 2004.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEM, H.; VOLKWEIS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. (Boletim Técnico) 2 ed. Porto Alegre. Departamento de Solos, UFRGS, 174 p. 1995.
- XU, G.; FAN, X.; MILLER, A.J. Plant nitrogen assimilation and use efficiency. **Annual Review of Plant Biology**, v.63, p.153-182, 2012. DOI: 10.1146/annurev-arplant-042811-105532.