

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ADUBAÇÃO NITROGENADA E CURVA CRÍTICA DE  
DILUIÇÃO DE NITROGÊNIO PARA A CULTURA DO MILHO**

Valdeci Orioli Júnior  
Engenheiro Agrônomo

2013

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ADUBAÇÃO NITROGENADA E CURVA CRÍTICA DE  
DILUIÇÃO DE NITROGÊNIO PARA A CULTURA DO MILHO**

Valdeci Orioli Júnior

Orientador: Prof. Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal).

**2013**

O69a Orioli Júnior, Valdeci  
Adubação nitrogenada e curva crítica de diluição de nitrogênio para a cultura do milho / Valdeci Orioli Júnior. -- Jaboticabal, 2013  
xix, 58 p. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013

Orientador: Edson Luiz Mendes Coutinho

Banca examinadora: Anice Garcia, José Eduardo Corá, Paulo Sérgio Pavinato, Rogério Farinelli

Bibliografia

1. *Zea mays*. 2. Faixa de suficiência. 3. Densidade de massa seca de raízes. 4. Índice de área foliar. 5. N crítico. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 633.15:631.84

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE JABOTICABAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

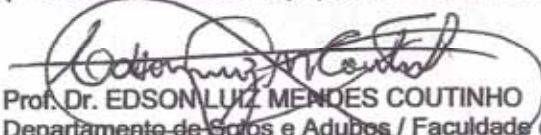
**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**


**TÍTULO:** ADUBAÇÃO NITROGENADA E CURVA CRÍTICA DE DILUIÇÃO DE NITROGÊNIO  
PARA A CULTURA DO MILHO

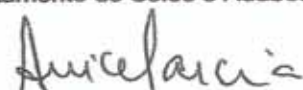
**AUTOR:** VALDECI ORIOLI JÚNIOR

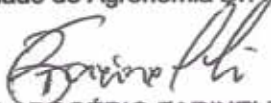
**ORIENTADOR:** Prof. Dr. EDSON LUIZ MENDES COUTINHO


Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA  
(PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. EDSON LUIZ MENDES COUTINHO  
Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

  
Prof. Dr. JOSE EDUARDO CORA  
Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

  
Profa. Dra. ANICE GARCIA  
Faculdade de Agronomia Dr. Francisco Maeda / Ituverava/SP

  
Prof. Dr. ROGÉRIO FARINELLI  
Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos / Barretos/SP

  
Prof. Dr. PAULO SÉRGIO PAVINATO  
Universidade de São Paulo / Piracicaba/SP

Data da realização: 25 de março de 2013.

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**VALDECI ORIOLI JÚNIOR**, nascido em 23 de Janeiro de 1983 no município de Catanduva – SP, é filho de Valdeci Orioli e Nilva de Lourdes Alberghini Orioli. Coursou o ensino fundamental e médio na Escola Estadual Profa. Carolina de Quadros Toledo em Paraíso – SP. Em julho de 2006 graduou-se em Engenharia Agrônômica pela Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) - Campus de Ilha Solteira. Durante a graduação foi bolsista de iniciação científica da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e trabalhou, sob orientação do Prof. Dr. Orivaldo Arf, com manejo de tratos culturais na cultura do trigo. Em agosto de 2006, agraciado com uma bolsa de estudos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ingressou no curso de mestrado do Programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV) - UNESP - Campus de Jaboticabal. Neste período, sob orientação do Prof. Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho, dedicou-se a estudos nas áreas de Fertilidade do Solo, Nutrição de Plantas, Fertilizantes e Corretivos e Adubação de Culturas. Obteve o Título de Mestre em outubro de 2008. Em março de 2009 foi admitido, com bolsa de estudos fornecida pela CAPES, no curso de doutorado do mesmo programa de pós-graduação e mesma instituição de ensino que lhe concedeu o título de mestre. No seu doutoramento, ainda sob orientação do Prof. Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho, aprofundou seus estudos nas áreas do conhecimento supracitadas, mais especificamente à dinâmica do N no solo, diagnóstico do estado nutricional e manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho. Em setembro de 2012 foi admitido em concurso público de provas e títulos para o cargo de professor efetivo do Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM) - Campus de Uberaba, onde trabalha desde então. Obteve o Título de Doutor em março de 2013.

“Adoramos a perfeição, porque não a podemos ter; repugná-la-íamos, se a tivéssemos. O perfeito é desumano, porque o humano é imperfeito.”

(Fernando Pessoa)

Aos meus pais Valdeci e Nilva, pela vida, exemplo e carinho incondicional; aos meus irmãos Fabrício e Priscila, pelo afeto e companheirismo; e à minha mulher Karina pela paciência, incentivo e amor...

### **OFEREÇO**

Ao meu orientador, Prof. Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho, pelos ensinamentos, confiança e amizade...

### **DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela saúde, pelas oportunidades e pessoas que colocou em minha vida.

À Giulia, Laís e Rafael, meus sobrinhos, pelos momentos de descontração.

A todos os funcionários do Departamento de Solos e Adubos da FCAV/UNESP, em especial à Claudia Campos Dela Marta e Dejair Lúcio da Silva, pela amizade e valiosa cooperação.

Aos colegas de pós-graduação, André Mendes Coutinho Neto e Saulo Strazeio Cardoso e aos ex-acadêmicos do curso de Agronomia, João Vitor Gomes Pasquetto e Rafael Magro Tomicioli por abdicarem de momentos de descanso e lazer para colaborarem na condução desse experimento.

A Bernardo Melo Montes Nogueira Borges, colega de pós-graduação, pelo auxílio na fase final deste trabalho.

Aos componentes da banca examinadora do exame geral de qualificação, Profa. Dra. Carolina Fernandes, Prof. Dr. Domingos Fornasieri Filho, Prof. Dr. José Carlos Barbosa e Prof. Dr. José Eduardo Corá, pelas sugestões apresentadas.

À Profa. Dra. Anice Garcia, Prof. Dr. José Eduardo Corá, Prof. Dr. Rogério Farinelli e Prof. Dr. Paulo Sérgio Pavinato, pelas propostas apresentadas na defesa desta tese.

Ao Marcelo Scatolin e aos funcionários da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Produção, pelo auxílio durante a condução dos experimentos.

Ao Conselho do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela oportunidade e concessão de bolsa de estudos.

À área de Agrometeorologia do Departamento de Ciências Exatas por ter cedido os dados meteorológicos.

A UNESP - Campus de Jaboticabal pela acolhida.



## SUMÁRIO

	Página
<b>RESUMO</b> .....	<b>ii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iv</b>
<b>CAPÍTULO 1 – Considerações gerais</b> .....	<b>1</b>
Introdução.....	1
Revisão de literatura.....	3
Referências.....	9
<b>CAPÍTULO 2 – Produtividade de grãos, parâmetros fenológicos e nutricionais do milho em função da adubação nitrogenada</b> .....	<b>14</b>
Resumo.....	14
Introdução.....	15
Material e métodos.....	16
Resultados e discussão.....	21
Conclusões.....	33
Referências.....	33
<b>CAPÍTULO 3 – Curva crítica de diluição de nitrogênio para a cultura do milho</b> .....	<b>40</b>
Resumo.....	40
Introdução.....	40
Material e métodos.....	42
Resultados e discussão.....	46
Conclusões.....	55
Referências.....	56

## ADUBAÇÃO NITROGENADA E CURVA CRÍTICA DE DILUIÇÃO DE NITROGÊNIO PARA A CULTURA DO MILHO

**RESUMO** – A recomendação da adubação nitrogenada para a cultura do milho deve ser constantemente atualizada, pois com frequência são lançados novos híbridos no mercado. Estes híbridos, normalmente, são mais produtivos e mais exigentes em N. A dificuldade de prever a disponibilidade deste macronutriente às plantas pela análise de solo torna ainda mais complexa a definição da dose de N a se aplicar. Atualmente, a dose de N para a cultura do milho é definida considerando-se o histórico da área e a produtividade esperada, e o estado nutricional da cultura quanto ao N tem sido avaliado por ocasião do pendoamento ou florescimento feminino, por meio da diagnose foliar. No entanto, se a deficiência de N for constatada neste estágio fenológico, não há mais possibilidade de se adotar medidas corretivas. Para contornar este problema pode-se adotar a curva crítica de diluição de N, pois esta permite acompanhar o estado nutricional nitrogenado da cultura em grande parte do seu período de crescimento. Assim, objetivou-se com este trabalho: 1) avaliar os efeitos de doses de N na cultura do milho; 2) subsidiar a recomendação da dose deste nutriente para a cultura e; 3) determinar e validar a curva crítica de diluição de N. Para tanto, foram conduzidos dois experimentos por dois anos agrícolas consecutivos (2009/2010 e 2010/2011) em solos distintos quanto à textura (Latosolo Vermelho eutroférico argiloso - LVEf e Latossolo Vermelho distrófico textura média - LVd). Adotou-se o delineamento experimental em blocos casualizados com seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos consistiram da aplicação de 0, 60, 100, 140, 200 e 260 kg ha<sup>-1</sup> de N. Para atingir os objetivos 1 e 2 avaliaram-se a densidade de massa seca de raiz (DMSR), o índice de área foliar (IAF), a concentração de N na folha, a produção de grãos, o número de grãos por espiga, a massa de 1000 grãos e a massa de grãos por espiga. Constatou-se que a adubação nitrogenada aumentou a DMSR, porém, apenas nos primeiros 0,20 m de profundidade. O IAF, a concentração de N na folha, a massa de grãos por espiga e a produção de grãos foram positivamente influenciadas pelo fornecimento de N. As variações na produção de grãos do milho deveram-se, sobretudo, às variações no

número de grãos por espiga. A dose média total que proporcionou a máxima produção de grãos foi  $193 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. A faixa de suficiência de N nas folhas das plantas de milho situou-se entre 25,9 e  $29,2 \text{ g kg}^{-1}$ . Para alcançar o objetivo 3, vinte e duas amostragens da parte aérea das plantas foram realizadas, durante os estádios  $V_6$  e  $R_3$ , para a determinação da produção de massa seca da parte aérea (MS) e concentração de N. Por meio destes dados, foi possível calcular a concentração crítica de N na parte aérea das plantas ( $N_{\text{crit}}$ ) em 12 épocas do período de crescimento da cultura. A curva crítica de diluição do N foi, então, obtida ajustando-se estes valores de  $N_{\text{crit}}$  à função potência  $N_{\text{crit}} = a \text{ MS}^{-b}$ . A curva crítica de diluição de N, determinada e validada para o milho cultivado na região de Jaboticabal/SP, é  $N_{\text{crit}} = 32,1 \text{ MS}^{-0,31}$  e é válida para MS entre  $1,36$  e  $11,22 \text{ Mg ha}^{-1}$ . A generalização do uso de uma curva crítica de diluição para diversas condições edafoclimáticas deve ser evitada.

**Palavras-chave:** *Zea mays*, faixa de suficiência, densidade de massa seca de raízes, índice de área foliar, N crítico.

## NITROGEN FERTILIZATION AND CRITICAL NITROGEN DILUTION CURVE FOR MAIZE

**ABSTRACT** – The recommendation of nitrogen for maize crop must be constantly adjusted, because frequently are released new hybrids on the market. These hybrids, normally, are more productive and demand more N. The difficulty to predict this nutrient availability to plants by soil analysis makes more complex the definition of the rate of N to use. Nowadays, the N rate for maize is defined considering the area historical and the expected yield and the N fertilization efficiency has evaluated at tasseling or bolting, by foliar diagnosis. Therefore, if N deficiency is detected at this phenological stage, this is no possibility to adopt corrective measures. To work around this problem it can be adopted the critical nitrogen dilution curve, because it allows to follow the nitrogen nutritional status of the culture in great part of its development. Thus, the objective with this work: 1) evaluate the effects of N addition in maize; 2) subsidize the rate recommendation of this nutrient for the culture and; 3) determinate and validate the critical nitrogen dilution curve. So, there were conducted two experiments for two consecutive years (2009/2010 and 2010/2011) in distinct soil as its textures (clayey and medium texture). It was adopted the experimental design in blocks with six treatments and four replications. The treatments consisted of the application of 0, 60, 100, 140, 200 and 260 kg ha<sup>-1</sup> of N. To achieve the objectives 1 and 2 evaluated the dry weight root density (DWRD), the leaf area index (LAI), leaf N concentration, grain yield, number of grains per ear, the mass of 1,000 grains and grain weight per ear. It was found that nitrogen fertilization increased the DWRD, however, only in the first 0.20 m depth. The LAI, the concentration of leaf N, the mass of grains per ear and grain yield were positively influenced by the supply of N. The variations in grain yield of maize were due mainly to changes in the number of grains per ear. The mean total rate that provided the maximum grain yield was 193 kg ha<sup>-1</sup> N. The sufficiency range of N in maize leaves was between 25.9 and 29.2 g kg<sup>-1</sup>. To achieve objective 3 twenty-two samplings of shoot were done during stages V6 and R3, to determine the dry matter shoot production (DM) and N content. Through these data, it was possible to calculate the critical concentration of N in shoots (Ncrit) in 12

periods of the crop's growth. The N dilution curve was then obtained by adjusting these values to the power function  $N_{crit} = a DM^{-b}$ . The N dilution curve, determined and validated for maize grown in Jaboticabal/SP is  $N_{crit} = 32.1 MS^{-0.31}$  and it is valid for DM between 1.36 and 11.22 Mg ha<sup>-1</sup>. Widespread use of a dilution curve for various soil and climatic conditions should be avoided.

**Keywords:** *Zea mays*, sufficiency range, dry weight root density, leaf area index, critical N.

## **CAPÍTULO 1 – Considerações gerais**

### **Introdução**

O nitrogênio (N) é o nutriente mais exigido pelas plantas de milho e também o que mais onera o custo de produção da cultura (DUETE et al., 2008). A alta exigência decorre da participação deste elemento em vários compostos das plantas como aminoácidos, ácidos nucléicos e clorofila. Por fazer parte destes compostos, este nutriente está presente nas principais reações bioquímicas das plantas e também dos microrganismos (MASRCHNER, 1995).

A importância do fornecimento de N às plantas de milho para alcançar elevadas produções é bastante conhecida (FERNANDES et al., 2005; VELOSO et al., 2006; DUETE et al., 2008; FARINELLI; LEMOS, 2012). No entanto, não raro, a produtividade de grãos de milho tem ficado abaixo do potencial produtivo de novos cultivares e isto tem sido atribuído, também, ao suprimento inadequado de N.

Entretanto, o manejo da adubação de nitrogenada é algo complexo, pois a disponibilidade deste macronutriente às plantas é governada por diversos processos que ocorrem no solo, como: mineralização, lixiviação, nitrificação, volatilização, desnitrificação, imobilização. Estes processos, por sua vez, são bastante dependentes de condições edáficas e de clima. Assim, os efeitos do suprimento de N às culturas são variáveis em função do histórico da área cultivada e também das condições climáticas do ano agrícola (RAIJ, 2011). Mas, além disso, estes efeitos dependem do cultivar adotado. A inclusão de híbridos cada vez mais produtivos e exigentes em N no sistema de produção de milho exige esforços constantes no sentido de ajustar as recomendações de aplicação de N para maximizar a produção deste cereal.

Por conta da complexa dinâmica do N, a análise química deste nutriente no solo a fim de determinar sua disponibilidade às plantas não tem sido eficiente no estado de São Paulo. Assim, a análise da concentração deste nutriente na planta ganha ainda mais importância no manejo da adubação nitrogenada para a cultura.

O “nível crítico” ou “faixa de suficiência” têm sido os métodos de diagnóstico nutricional nitrogenado mais estudados para a cultura do milho. Nestes métodos a

concentração de N na folha ou parte desta por ocasião do pendoamento ou florescimento feminino é comparada a um valor ou faixa de concentração pré-determinados para plantas adequadamente nutridas em N. No entanto, o diagnóstico é realizado em um momento que é impossível adotar medidas corretivas caso seja diagnosticada deficiência de N nas plantas.

No intuito de contornar este problema Lemaire e Gastal (1997) sugeriram o uso da curva crítica de diluição do N como método de diagnóstico, pois permite aferir o estado nutricional nitrogenado da cultura durante grande parte do seu período de crescimento. A curva crítica de diluição é obtida determinando-se em vários momentos do crescimento das plantas a concentração mínima de N que proporciona a máxima produção de massa seca da parte aérea e posteriormente ajustando os dados à função potência  $N_{crit} = a MS^{-b}$ , onde  $N_{crit}$  é a concentração crítica de N em  $g\ kg^{-1}$ ; MS é respectiva produção de massa seca em  $Mg\ ha^{-1}$ ;  $a$  e  $b$  são os parâmetros de ajuste da curva. A curva obtida, então, permite distinguir três situações nutricionais: deficiência de N, abaixo dela, excesso de N (consumo de luxo), acima dela, e nutrição nitrogenada ótima, sobre ela (LEMAIRE; GASTAL, 1997).

Além de permitir o diagnóstico do estado nutricional da cultura em vários momentos, possibilitando a adoção de medidas corretivas nos casos de deficiência de N, a curva crítica de diluição de N tem outras características desejáveis a um método de diagnóstico nutricional, quais sejam: é, aparentemente, estável ao longo dos anos e também entre cultivares de uma mesma espécie (LEMAIRE; GASTAL, 1997; HERRMANN; TAUBE, 2004) e, segundo Sheehy et al. (1998), independe da zona climática.

A curva crítica de diluição do N para a cultura do milho foi determinada e validada como método de diagnóstico nutricional nitrogenado em alguns países, como França (PLÉNET; LEMAIRE, 2000), Alemanha (HERRMANN; TAUBE, 2004) e China (LI et al., 2012). As curvas obtidas na França e Alemanha foram, ainda, validadas para uso no leste do Canadá por Ziadi et al. (2008). No entanto, apesar de suas vantagens, não foi determinada para o milho cultivado em condições tropicais.

Assim, objetivou-se avaliar os efeitos da adubação nitrogenada na cultura do milho e, ainda, determinar e avaliar a eficiência da curva crítica de diluição de N no diagnóstico do estado nutricional nitrogenado das cultura do milho.

## **Revisão de literatura**

Uma vez que o N é o elemento mais exigido pelo milho e tal exigência não é suprida pelos solos quando objetiva-se altas produtividades de grãos, grande parte da demanda das plantas por este nutriente tem que ser atendida pela adubação, normalmente realizada com fontes minerais (AMADO; MIELNICZUK, 2000). A grande exigência por N pelas plantas de milho deve-se, principalmente, pela sua participação no desenvolvimento vegetativo, na fotossíntese, na biossíntese de proteínas, na composição da molécula de clorofila e no acúmulo de massa seca nos grãos (MARSCHNER, 1995; TAIZ; ZEIGER, 2009).

Diversos estudos têm mostrado a importância do fornecimento do N no aumento de produtividade da cultura do milho (FERNANDES et al., 2005; VELOSO et al., 2006; DUETE, 2008; FARINELLI; LEMOS, 2012). Apesar disto, segundo Araújo et al. (2004), enquanto na China e nos Estados Unidos aplica-se, respectivamente, 130 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de N nas lavouras comerciais de milho, no Brasil a dose média deste nutrientes situa-se em torno de 60 kg ha<sup>-1</sup> de N.

No Estado de São Paulo, a produtividade média de grãos de milho no ano agrícola 2011/2012 foi 6,1 Mg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2013). Esta produtividade está aquém das obtidas em experimentos com a cultura neste estado (VELOSO et al., 2006; DUETE et al., 2008; FARINELLI; LEMOS, 2010 e 2012). O uso incorreto ou insuficiente de fertilizantes pode ser um dos motivos desta baixa produtividade. Neste estado recomenda-se, para produtividades superiores a 8,0 Mg ha<sup>-1</sup> de grãos, a aplicação de 50 a 140 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, dependendo da classe de resposta ao nutriente (CANTARELLA et al., 1997). No entanto, é preciso considerar que estas recomendações foram baseadas em estudos realizados antes de 1996, ano em que o boletim oficial de recomendação de adubação para o Estado de São Paulo foi publicado. Desde então houve mudanças significativas na agricultura



brasileira, dentre elas o surgimento de híbridos de milho com maior potencial produtivo e, por consequência, mais exigentes em termos nutricionais. Isto implica na necessidade de estudos constantes para determinação da melhor dose de N para a cultura no intuito de subsidiar futuras recomendações.

Abaixo são descritos alguns experimentos sobre adubação nitrogenada em milho cultivado em regiões do estado de São Paulo. Nota-se que o efeito da adição de N na produção de grãos de milho mostra-se bastante dependente das condições edafoclimáticas (RAIJ, 2011; FARINELLI; LEMOS, 2012).

Veloso et al. (2006), em um Gleissolo eutrófico argiloso no município de Piracicaba/SP, observaram que a adubação nitrogenada aumentou a produção de grãos de milho e a máxima produção ( $10,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) foi obtida com a aplicação de  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de N ( $30 \text{ kg ha}^{-1}$  de N na semeadura e  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de N em cobertura).

Em Botucatu/SP, Farinelli e Lemos (2010, 2012) verificaram, para um mesmo cultivar (DKB 466), que no ano agrícola de 2004/05 a aplicação de  $92 \text{ kg ha}^{-1}$  de N propiciou a máxima produtividade de grãos de milho ( $10,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). No entanto, em 2005/06, foram necessários  $151 \text{ kg ha}^{-1}$  de N para que a cultura produzisse  $8,9 \text{ Mg ha}^{-1}$  de grãos.

Por sua vez, Fernandes et al. (2005) verificaram, em Ilha Solteira/SP, que para a máxima produção de grãos de milho ( $6,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) foi necessária a aplicação de  $110 \text{ kg ha}^{-1}$  de N.

No município de Votuporanga/SP, em Latossolo Vermelho eutrófico de textura média, Duete et al. (2008) obtiveram a máxima produtividade de grãos de milho ( $8,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) com a aplicação de  $135 \text{ kg ha}^{-1}$  de N.

A recomendação da adubação nitrogenada, normalmente, é baseada em curvas de resposta médias (RAIJ, 2011). Uma vez que a resposta da cultura à adubação nitrogenada sofre grande influência do uso anterior do solo, essas curvas devem ser elaboradas considerando condições semelhantes de solo e cultivo. Isto não é tarefa fácil e exige dados de um grande número de experimentos. Ademais, por conta do advento de híbridos mais exigentes e produtivos, estas curvas devem ser constantemente atualizadas.

O efeito da adubação nitrogenada na produção de grãos de milho é consequência da influência do N em outros atributos da parte aérea da planta que

estão relacionados direta ou indiretamente à produtividade da cultura. A adubação nitrogenada pode influenciar de forma positiva a área foliar plantas, aumentando o índice de área foliar (IAF) (OSCAR; TOLLENAR, 2006; AMANULLAH et al., 2007; VELOSO et al., 2009), o número de grãos por espiga (ANDRADE et al., 2002; MAYER et al., 2012) e também a massa de 1000 grãos (FERNANDES et al., 2005; VELOSO et al., 2006; FARINELLI; LEMOS, 2012). O conhecimento da influência do N nestas variáveis possibilita um melhor entendimento dos efeitos notados na produção de grãos.

No entanto, a compreensão dos fenômenos ocorridos na parte aérea das plantas torna-se mais completa, quando também se avaliar o sistema radicular (VASCONCELOS et al., 2003).

O N exerce importantes funções nas plantas, é plausível, pois, avaliar sua influência no sistema radicular. COSTA et al. (2002) notaram forte efeito da adubação nitrogenada na superfície, comprimento e massa seca das raízes de milho. Verificaram que a aplicação de  $127,5 \text{ kg ha}^{-1}$  de N proporcionou os maiores resultados para estas variáveis em comparação ao tratamento sem N e à maior dose do nutriente ( $255,0 \text{ kg ha}^{-1}$  de N). Apesar disto, a influência do N no sistema radicular da cultura do milho tem sido pouco estudada.

O N tem uma complexa dinâmica no solo e não deixa efeitos residuais diretos das adubações, em função disso o manejo da adubação nitrogenada é dos mais difíceis. Sua disponibilidade é dependente dos processos de mineralização, imobilização, volatilização, desnitrificação e lixiviação. Estes processos são muito dependentes da disponibilidade de resíduos orgânicos, de fatores climáticos e de condições do próprio solo. Assim, sobretudo em regiões quentes e úmidas, a análise de N no solo não tem sido eficiente para aferir sua disponibilidade às plantas (RAIJ, 2011). Neste contexto, a análise da planta passa a ser o principal indicador para o manejo da adubação nitrogenada.

Segundo Herrmann e Taube (2004), quanto ao N, três principais indicadores do estado nutricional da cultura têm sido utilizados, quais sejam: concentração de nitrato; métodos ópticos e concentração de N (na planta toda ou parte dela).

Com relação ao último método, a concentração de N no terço central da folha da base espiga coletada quando 50% das plantas estão pendoadas, é recomendada

para o diagnóstico do estado nutricional do milho cultivado no estado de São Paulo (CANTARELLA et al., 1997). Segundo os autores, plantas adequadamente nutridas em N apresentam nesta parte da folha concentrações entre 27 e 35 g kg<sup>-1</sup> de N, estes valores determinam a chamada “faixa de suficiência”. A principal limitação deste método é que no pendoamento a produção da cultura já está definida e, no caso de diagnóstico de deficiência de N, não é possível a adoção de medidas corretivas.

No intuito de contornar este problema e diagnosticar precocemente a deficiência de N em plantas de milho, Binford et al. (1992) tentaram estabelecer uma relação entre a concentração de N na planta em estágio inicial de desenvolvimento e a disponibilidade desse nutriente para a cultura. Porém, observaram que isto não proporciona uma ferramenta de confiança, tendo pouca relação com a produção final.

A validade da faixa de suficiência é restrita a um momento pré-determinado, pois, mesmo em situações em que o N não é limitante, a concentração de N em culturas que formam dosséis densos diminui à medida que as plantas crescem (GASTAL; LEMAIRE, 2002), inclusive nas folhas. Este fenômeno é chamado de diluição de N e ocorre devido ao auto-sombreamento de folhas e a mudança na relação folha/caule (JUSTES et al., 1994).

Quanto ao auto-sombreamento, as plantas remobilizam N das folhas sombreadas para as folhas bem iluminadas na tentativa de maximizar sua fotossíntese (FIELD, 1983; HIROSE; WERGER, 1987; PONS; PEARCY, 1994). Como consequência as folhas inferiores ficam com menor concentração de N em relação às folhas superiores e isto contribui para diluir o N na parte aérea.

Mas é a mudança da relação folha/caule que mais contribui na diluição deste nutriente na planta. Segundo, Gastal e Lemaire (2002) a massa de caule aumenta mais que a massa de folha à medida que a planta cresce. Como o caule tem menor concentração de N que a folha, a concentração de N na planta toda diminui.

Uma vez que a concentração de N na parte aérea das plantas diminui à medida que a planta acumula massa seca, e que as plantas têm a característica de absorver mais N do que o necessário para a máxima produção de biomassa (LEMAIRE; GASTAL, 1997), em tese, seria possível determinar uma concentração

crítica de N nas plantas durante todo seu ciclo. A concentração crítica de N é a mínima concentração do nutriente que proporciona a máxima produção de massa seca (ULRICH, 1952).

Plénet e Lemaire (2000) observaram que a concentração crítica de N em plantas de milho quando relacionadas com a produção de massa seca pode ser descrita pela seguinte equação:  $N_{crit} = 34,0 MS^{-0,37}$ . Onde,  $N_{crit}$  é a concentração crítica de N em  $g\ kg^{-1}$ ; MS é a produção de massa seca da parte aérea em  $Mg\ ha^{-1}$  e os valores 34,0 e  $-0,37$  correspondem, respectivamente, à concentração de N na planta quando a MS é menor que  $1,0\ Mg\ ha^{-1}$  e à intensidade de diluição do N no intervalo de MS que a equação é válida.

Esta curva é chamada de “curva crítica de diluição de N” e permite distinguir três situações nutricionais: deficiência de N, abaixo dela, excesso de N (consumo de luxo), acima dela, e nutrição nitrogenada ótima, sobre ela.

A curva determinada para o milho por Plénet e Lemaire (2000) é válida para produções de massa seca da parte aérea entre  $1,0$  e  $22,0\ Mg\ ha^{-1}$ . De acordo com os autores, a concentração crítica de N da planta permanece constante em estádios iniciais de desenvolvimento ( $MS < 1,0\ Mg\ ha^{-1}$ ) não possibilitando estabelecer uma relação com o desenvolvimento da planta.

A grande vantagem da curva crítica de diluição de N é que ela considera a necessidade de N das plantas ao longo do seu período de crescimento. Isto permite utilizá-la como método de diagnóstico do estado nutricional nitrogenado durante todo o intervalo de MS que a curva é válida. Além disso, a curva de diluição de N, aparentemente, é estável ao longo dos anos e também entre cultivares de uma mesma espécie (LEMAIRE; GASTAL, 1997) e, segundo Sheehy et al. (1998), é independente da zona climática. Essas características são interessantes para um método de diagnóstico nutricional. Ademais, a equação que a descreve é uma simplificação satisfatória de modelos teóricos complexos que relacionam o fenômeno de diluição de N a processos ecofisiológicos característicos de plantas que formam dosséis densos, o que dá base teórica ao seu uso como meio de diagnóstico nutricional (LEMAIRE; GASTAL, 1997).

Lemaire e Gastal (1997) propõem, para facilitar o uso da curva crítica de diluição de N como método de diagnóstico nutricional, que se utilize o índice de

nutrição nitrogenada (INN). O INN nada mais é que a razão entre a concentração de N observada em plantas que se deseja diagnosticar e a concentração crítica de N para o mesmo valor de MS observado no campo. Quando o INN for menor que 1,0 a planta está deficiente em N; quando for maior que 1,0 está com excesso de N (consumo de luxo); e quando for igual a 1,0 a nutrição nitrogenada é ótima.

Justes et al. (1994) determinaram e validaram a curva crítica de diluição de N para a cultura do trigo no norte da França. A validação da curva é feita avaliando o quanto ela é capaz de distinguir situações de deficiência e suficiência de N. Para isso, utilizando dados de vários experimentos relacionados à adubação nitrogenada do trigo, os autores separaram os tratamentos onde o suprimento de N foi limitante e não limitante à produção de massa seca da parte aérea. O resultado foi: 104 situações de suprimento limitante de N e 141 de suprimento não limitante. Por meio destes dados verificaram que a curva crítica de diluição determinada a priori ( $N_{crit} = 53,5 MS^{-0,44}$ ) foi capaz de distinguir todas as situações de suprimento limitante e não limitante de N limitante dentro do intervalo de 1,65 a 12,0 Mg ha<sup>-1</sup> de massa seca da parte aérea.

Plénet e Lemaire (2000), para o milho cultivado também na França, verificaram que a curva por eles determinada ( $N_{crit} = 34 MS^{-0,37}$ ) teve uma eficiência de 94% na distinção de 280 situações, considerando o intervalo de 1,0 a 22,0 Mg ha<sup>-1</sup> de massa seca da parte aérea.

Hermann e Taube (2004), na Alemanha, observaram que as situações onde o N era limitante e não limitante à produção de massa seca da parte aérea do milho foram bem discriminadas pela curva de diluição de N lá determinada ( $N_{crit} = 34,0 MS^{-0,39}$ ). O índice de acerto, considerando 138 situações no intervalo de 1,0 a 22,0 Mg ha<sup>-1</sup>, foi de 91%. Os autores verificaram ainda que a curva de diluição de N foi válida para a adubação com resíduos orgânicos.

A curva determinada por Plénet e Lemaire (2000) tem sido testada em algumas regiões como método diagnóstico do estado nutricional do milho. Hermann e Taube (2004) obtiveram uma curva de diluição muito semelhante a dos autores anteriores e relataram que os parâmetros que definem a curva de diluição são bastante estáveis, o que permite o uso de uma curva em diversas condições edafoclimáticas. Sheehy et al. (1998), avaliando a eficiência da curva crítica para a

cultura do arroz em áreas de clima temperado e tropical, acreditam que ela não é significativamente influenciada pela zona climática.

No leste do Canadá, Ziadi et al. (2008) testaram as curvas críticas de diluição do N determinadas para o milho por Plénet e Lemaire (2000) e Hermann e Taube (2004). Os autores concluíram que as curvas críticas determinadas na Europa podem ser aplicadas para vários genótipos e em diversas condições ambientais, inclusive àquelas do leste do Canadá.

No entanto, Li et al. (2012), na China, obtiveram uma curva crítica de diluição do N no milho com parâmetros distintos ( $N_{crit} = 36,5 MS^{-0,48}$ ) daquelas determinadas na Europa por Plénet e Lemaire (2000) e Herrmann e Taube (2004). Essa curva foi eficiente no diagnóstico nutricional nitrogenado do milho cultivado na China, diagnosticando corretamente mais de 88% das situações que eram consideradas limitantes em N. Assim, as generalizações de uso da curva devem ser cautelosas.

Apesar das vantagens deste método de diagnóstico do estado nutricional nitrogenado, a curva crítica de diluição do N ainda não foi determinada para o milho cultivado em condições tropicais.

## Referências

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. Estimativa da adubação nitrogenada para o milho em sistemas de manejo e culturas de cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.553-560, 2000.

AMANULLAH, M.J.H.; NAWAB, K.; ALI, A. Response of specific leaf area (SLA), leaf area index (LAI) and leaf area ratio (LAR) of maize (*Zea mays* L.) to plant density, rate and timing of nitrogen application. **World Applied Sciences Journal**, v.2, p.235-243, 2007.

ANDRADE, F.H.; ECHARTE, L.; RIZALLI, R.; DELLA MAGGIORA, A.; CASANOVAS, M. Kernel number prediction in maize under nitrogen or water stress. **Crop Science**, v.42, p.1173-1179, 2002.

ARAUJO, L.A.N.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. da. Adubação nitrogenada na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.771-777, 2004.

BINFORD, G.D.; BLACKMER, A.M.; CERRATO, M.E. Nitrogen concentration of young corn plants as an indicator of nitrogen availability. **Agronomy Journal**, v.84, p.219-223, 1992.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van; CAMARGO, C.E. de O. Cereais. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. p.43-50. (Boletim Técnico, 100).

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, quarto levantamento, janeiro 2013**. Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília: Conab, 2013. 28p.

COSTA, C.; DWYER, L.M.; ZHOU, X.; DUTILLUL, P.; HAMEL, C.; REID, L.M.; SMITH, D.L. Root morphology of contrasting maize genotypes. **Agronomy Journal**, v.94, p.96-101, 2002.

DUETE, R.R.C.; MURAOKA, T.; SILVA, E.C. da; TRIVELIN, P.C.O.; AMBROSANO, E.J. Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio ( $^{15}\text{N}$ ) pelo milho em Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.161-171, 2008.

FARINELLI, R.; LEMOS, L.B. Nitrogênio em cobertura na cultura do milho em preparo convencional e plantio direto consolidados. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.42, p.63-70, 2012.

FARINELLI, R.; LEMOS, L.B. Produtividade e eficiência agrônômica do milho em função da adubação nitrogenada e manejos do solo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.9, p.135-146, 2010.

FERNANDES, F.C.S.; BUZETTI, S.; ARF, O.; ANDRADE, J.A. da C. Doses, eficiência e uso de nitrogênio por seis cultivares de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.4, p.195-204, 2005.

FIELD, C. Allocation leaf nitrogen for the maximization of carbon gain: leaf age as a control on the allocation program. **Oecologia**, v.56, p.341–347, 1983.

GASTAL, F.; LEMAIRE, G. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. **Journal of Experimental Botany**, v.53, p.789-799, 2002.

HERMANN, A.; TAUBE, F. The range of the critical nitrogen dilution curve for maize (*Zea mays* L.) can be extended until silage maturity. **Agronomy Journal**, v.96, 1131-1138, 2004.

HIROSE, T.; WERGER, M.J.A. Maximizing daily canopy photosynthesis with respect to the leaf nitrogen allocation pattern in the canopy. **Oecologia**, v.52, p.520–526, 1987.

JUSTES, E.; MARY, B.; MEYNARD, J.-M.; MACHET, J.-M.; THELIER-HUCHES, L. Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter wheat crops. **Annals of Botany**, v.74, p.397–407, 1994.

LEMAIRE, G.; GASTAL, F. N uptake and distribution in plant canopies. In: LEMAIRE, G. (Ed.). **Diagnosis of the nitrogen status in crops**. Heidelberg: Springer-Verlag, 1997. p.3–43.

LI W.; HE, P.; JIN, J. Critical nitrogen curve and nitrogen nutrition index for spring maize in north-east China. **Journal of Plant Nutrition**, v.35, p.1747-1761, 2012.



MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. 2ed. Academic Press: San Diego, CA, USA, 1995. 889p.

MAYER, L.I.; ROSSINI, M.A.; MADDONI, G.A. Inter-plant variation of grain yield components and kernel composition of maize crops grown under contrasting supply. **Field Crops Research**, v.125, p.98-108, 2012.

OSCAR, R.V.; TOLLENNAR, M. Effect of acquisition of resources needed for growth and genotype, nitrogen, plant density and row spacing development. **Agronomy Journal**, v.98, p.94-99, 2006.

PLÉNET, D.; LEMAIRE, G. relationships between dynamics of nitrogen uptake and dry matter accumulation in maize crops. Determination of critical N concentration. **Plant and Soil**, v.216, p.65–82, 2000.

PONS, T.L.; PEARCY, R.W. Nitrogen reallocation and photosynthetic acclimation in response to partial shading in soybean plants. **Physiologia Plantarum**, v.92, p.636–644, 1994.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. IPNI: Piracicaba, SP. 2011. 420p.

SHEEHY, J.E.; DIANORA, M.J.A.; MITCHELL, P.L.; PENG, S.; CASSMAN, K.G.; LEMAIRE, G.; WILLIAMS, R.L. Critical nitrogen concentrations: implications for high-yielding rice (*Oryza sativa* L.) cultivars in the tropics. **Field Crops Research**, v.59, p.31–41, 1998.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4. Ed. Artmed, Porto Alegre, RS, Brasil, 2009.

ULRICH, A. physiological bases for assessing the nutritional requirements of plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v.3, p.207-228, 1952.

VASCONCELOS, A.C.M.; CASAGRANDE, A.A.; PERECIN, D.; JORGE, L.A.C.; LANDELL, M.G.A. Avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar por diferentes métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.849-858, 2003.

VELOSO, M.E. da C.; DUARTE, S.N.; DOURADO NETO, D.; MIRANDA, J.H.; SILVA, E.C. da; SOUSA, V.F. de. Doses de nitrogênio na cultura do milho, em solos de várzea, sob sistema de drenagem subterrânea. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 5, p.382-394, 2006.

VELOSO, M.E. da C.; DUARTE, S.N.; DOURADO NETO, D.; SILVA, E.C. da; PEREIRA, C.R. Teor de nitrogênio, índices de área foliar e de colheita, no milho, em função da adubação nitrogenada, em solo de várzea. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.8, p.13-25, 2009.

ZIADI, N.; BRASSARD, M.; BÉLANGER, G.; CAMBOURIS, A.N.; TREMBLAY, N.; NOLIN, M.C.; CLAESSENS, A.; PARENT, L. Critical nitrogen curve and nitrogen nutrition index for corn in Eastern Canada. **Agronomy Journal**, v.100, p.271-276, 2008.

## **CAPÍTULO 2 – Produtividade de grãos, parâmetros fenológicos e nutricionais do milho em função da adubação nitrogenada**

**Resumo** – O surgimento de híbridos cada vez mais produtivos e exigentes em N torna necessário o ajuste constante das recomendações de adubação nitrogenada para a cultura do milho. Assim, com o objetivo de avaliar os efeitos do fornecimento de N e subsidiar a recomendação da dose de N para cultura, foram conduzidos, em Jaboticabal/SP, dois experimentos por dois anos agrícolas consecutivos (2009/2010 e 2010/2011) em solos distintos quanto à textura (Latosolo Vermelho eutroférico argiloso - LVef e Latossolo Vermelho distrófico textura média - LVd). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos consistiram de doses de N (0, 60, 100, 140, 200 e 260 kg ha<sup>-1</sup> de N). Avaliaram-se a densidade de massa seca de raiz (DMSR), o índice de área foliar (IAF), a concentração de N na folha, a produção de grãos, o número de grãos por espiga, a massa de 1000 grãos e a massa de grãos por espiga. A adubação nitrogenada aumentou a DMSR e sua influência restringiu-se aos primeiros 0,20 m de profundidade. O IAF, a concentração de N na folha, a massa de grãos por espiga e a produção de grãos foram incrementadas com a adição de N. O aumento na produção de grãos deveu-se, principalmente, ao aumento do número de grãos por espiga. A massa de 1000 grãos foi influenciada apenas no segundo ano agrícola. A dose média total que proporcionou a máxima produção de grãos foi 193 kg ha<sup>-1</sup> de N e a faixa de suficiência de N nas folhas das plantas de milho situou-se entre 25,9 e 29,2 g kg<sup>-1</sup>.

**Palavras-chave:** *Zea mays*, nitrogênio, índice de área foliar, massa seca de raízes, componentes de produção, faixa de suficiência.

## Introdução

O N é o nutriente mais exigido pela cultura do milho, o que mais influencia sua produtividade, mas também o que mais onera o custo de produção (SILVA et al., 2005; DUETE et al., 2008). A quantidade de N no solo, normalmente não atende a demanda da cultura por este nutriente quando altas produtividades são esperadas e a adubação se faz necessária. O efeito benéfico do fornecimento de N na produção de grãos de milho é relatado por vários autores (FERNANDES et al., 2005; VELOSO et al., 2006; DUETE, 2008; FARINELLI; LEMOS, 2012).

No entanto, por conta do advento de híbridos cada vez mais produtivos e exigentes em N, são necessários sempre novos estudos que subsidiem o ajuste da adubação nitrogenada para a cultura. Na última década, a incorporação, no sistema de produção de milho, de híbridos geneticamente modificados com resistência à pragas e herbicidas possibilitou a obtenção de produtividades ainda maiores e isto, por consequência, pode elevar a exigência da cultura por N.

Apesar disto, a produtividade média de grãos de milho no Estado de São Paulo, em 2011/2012, foi apenas  $6,1 \text{ Mg ha}^{-1}$  (CONAB, 2013). Embora seja maior que a obtida em vários estados brasileiros, esta produtividade está aquém das obtidas em experimentos com a cultura neste estado (VELOSO et al., 2006; DUETE et al., 2008; FARINELLI; LEMOS, 2010 e 2012). O uso incorreto ou insuficiente de fertilizantes pode ser um dos motivos desta baixa produtividade. De acordo com Araújo et al. (2004), a dose média de N aplicada em lavouras comerciais de milho no Brasil situa-se em torno  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. Já, na China e nos Estados Unidos, aplicam-se, respectivamente,  $130$  e  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de N.

A adição de N influencia, ainda, outros atributos das plantas como a área foliar das plantas (OSCAR; TOLLENAR, 2006; AMANULLAH et al., 2007; VELOSO et al., 2009), o número de grãos por espiga (ANDRADE et al., 2002; MAYER et al., 2012), a massa de 1000 grãos (FERNANDES et al., 2005; VELOSO et al., 2006; FARINELLI; LEMOS, 2012). Estes atributos relacionam-se com a produtividade de grãos e possibilitam melhor entendimento dos efeitos da disponibilidade de N na produtividade.

Do mesmo modo, o conhecimento de fatores que afetam o crescimento do sistema radicular das plantas é de grande importância, já que este é responsável pelo crescimento e o estabelecimento das culturas, determinando a quantidade de água e nutrientes absorvidos, e, conseqüentemente, sua produtividade (LEITE et al., 2006). Apesar disto, poucos estudos têm considerado os efeitos da adubação nitrogenada no sistema radicular das plantas de milho.

Aparentemente, o fornecimento de N aumenta o crescimento do sistema radicular das plantas de milho, pois Costa et al. (2002) verificaram que a aplicação de 127,5 kg ha<sup>-1</sup> de N incrementou a superfície, comprimento e massa seca de raízes. Todavia, a aplicação de dose elevada do nutriente (255,0 kg ha<sup>-1</sup> de N) reduziu o crescimento das raízes.

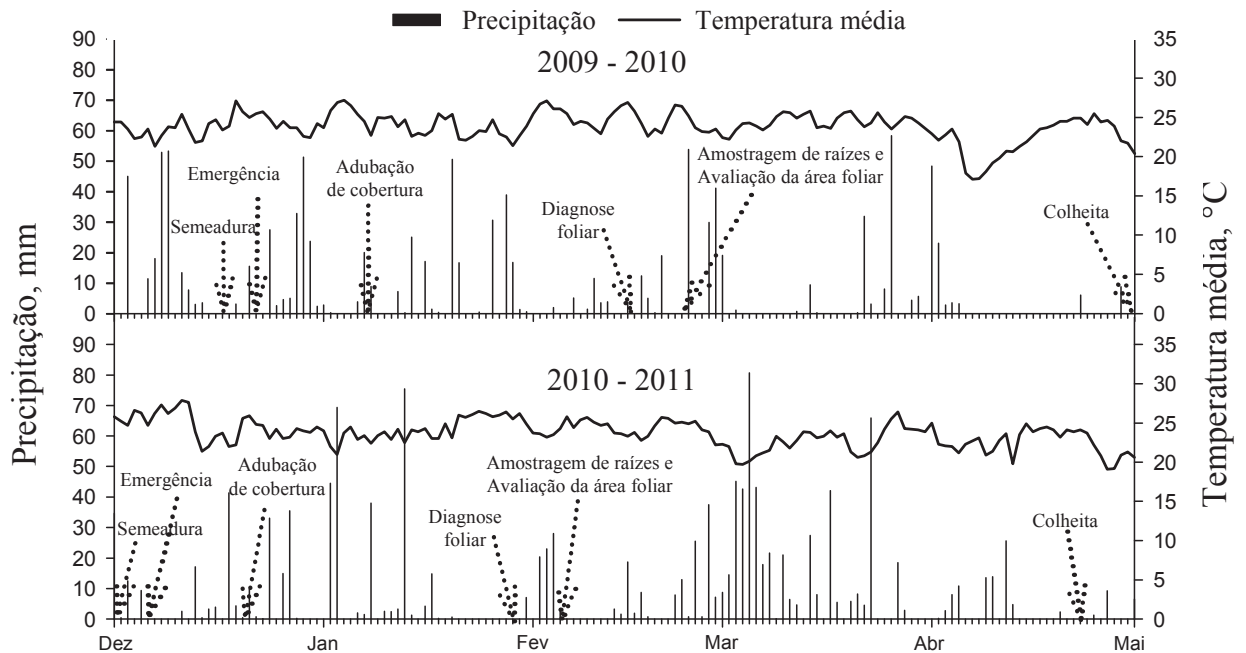
Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito da aplicação de N na produção de grãos considerando também as variações na densidade de massa seca de raízes, índice de área foliar, estado nutricional e alguns componentes de produção (número de grãos por espiga, massa se 1000 grãos e massa de grãos por espiga). Procurou-se, ainda, determinar a dose que proporciona a máxima produção de grãos e a faixa de suficiência de N nas folhas das plantas de milho.

## **Material e métodos**

O trabalho foi conduzido, por dois anos agrícolas consecutivos (2009/2010 e 2010/2011) nas mesmas parcelas em duas áreas da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Produção da UNESP - Campus de Jaboticabal - SP, localizada a 21° 14' sul, na longitude de 48° 17' oeste, a uma altitude de 613 m, com clima, segundo classificação de Köppen, Aw (clima megatérmico). Na Figura 1 estão apresentados os dados diários de precipitação e temperatura média do ar referente ao período experimental.

Os solos das áreas foram classificados, segundo critérios da EMBRAPA (2006), como Latossolo Vermelho eutrófico argiloso (LVef) e Latossolo Vermelho distrófico textura média (LVd). As áreas vinham sendo cultivadas no sistema

convencional (uma aração e duas gradagens) com a cultura do milho durante o verão e ficavam em pousio durante o inverno.



**Figura 1.** Dados diários de precipitação e temperatura média do ar durante o período experimental.

Antes da instalação dos experimentos no ano 2009/2010 foram coletadas amostras de solo das áreas experimentais e realizada a análise química para fins de fertilidade de acordo com métodos descritos por RAIJ et al. (2001). Os resultados estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Atributos químicos e teor de argila dos solos na camada superficial (0 – 0,20 m) antes da instalação dos experimentos.

Solo	pH (CaCl <sub>2</sub> )	MO g dm <sup>-3</sup>	P (resina) mg dm <sup>-3</sup>	K	Ca	Mg	H+Al mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	CTC	V %	Argila g kg <sup>-1</sup>
LVd	5,0	18	25	1,4	21	11	34	67,4	50	300
LVef	4,5	28	20	3,2	19	10	58	90,2	36	660

Adotou-se, em ambas as áreas, o delineamento experimental de blocos casualizados, com seis tratamentos e quatro repetições. As parcelas constaram de oito linhas de sete metros de comprimento, perfazendo um total de 56 m<sup>2</sup>.

Considerou-se como área útil de cada parcela as seis linhas centrais, desprezando-se 0,5 m do início e do fim de cada parcela. As parcelas e blocos foram separados por carregadores de um e dois metros, respectivamente.

Os tratamentos constaram de seis doses de N (0, 60, 100, 140, 200 e 260 kg ha<sup>-1</sup>). Nas parcelas que receberam o nutriente, foram aplicados 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura e o restante em cobertura, quando as plantas apresentavam seis folhas completamente desenroladas. A fonte nitrogenada utilizada para as adubações de semeadura e cobertura foi a uréia.

Com base análise química do solo (Tabela 1), três meses antes da instalação dos experimentos foi realizada a calagem, procurando-se elevar a saturação por bases a 70%, conforme recomendação de Raij e Cantarella (1997) para a cultura do milho. Após a aplicação, o calcário foi incorporado ao solo até, aproximadamente, 0,20 m de profundidade.

O preparo do solo foi realizado por meio de uma aração e duas gradagens. Com o solo já preparado, procedeu-se a semeadura do híbrido de milho Pioneer 30F35H, recomendado para a região e resistente a lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*). Adotou-se o espaçamento entrelinhas de 0,90 m e procurou-se obter uma população final de 60.000 plantas por hectare. Para tanto, após desbaste, deixaram-se 54 plantas a cada 10 metros de linha.

Em ambos os anos e áreas, nas parcelas que receberam N, a adubação de semeadura constou da aplicação de 20 kg ha<sup>-1</sup> de N, 70 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 40 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, tendo como fonte, respectivamente, a uréia, o superfosfato simples e o cloreto de potássio. Nas demais parcelas (testemunhas) foram fornecidos apenas P e K nas doses e fontes citadas anteriormente. No LVd, além da aplicação de N, também foram aplicados, em cobertura, 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (cloreto de potássio) nos dois anos. No LVef o K foi aplicado em cobertura apenas no segundo ano, na dose de 50 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (cloreto de potássio). Em ambas as áreas foi aplicado, antes da semeadura do primeiro ano, 1 kg ha<sup>-1</sup> de Zn em área total, utilizando como fonte o sulfato de zinco. Após a aplicação, foi realizada a incorporação por meio de gradagem leve. As adubações foram realizadas procurando-se obter de 10 a 12 Mg ha<sup>-1</sup> de grãos.

No segundo ano, com a finalidade de evitar ou reduzir a ocorrência de doenças foliares, foi realizada, nas duas áreas, uma aplicação de fungicida a base de azoxistrobina (estrobilurina) + ciproconazol (triazol) [70 + 28 g ha<sup>-1</sup> dos i.a.], quando as plantas apresentavam de sete a oito folhas completamente desenroladas. Os demais tratos culturais e fitossanitários foram os normalmente recomendados para o cultivo comercial de milho na região.

No momento em que 50% das plantas encontravam-se pendoadas foram coletados, de 20 plantas por parcela, o terço central da folha da base da espiga para a determinação da concentração foliar de N, seguindo as recomendações de Cantarella et al. (1997). Posteriormente, de acordo com metodologia proposta Bataglia et al. (1983), as amostras foram lavadas, secas, moídas e analisadas para N.

Quando as plantas encontravam-se no estágio R1 procedeu-se a coleta de raízes em camadas de 0,10 m, até a profundidade de 0,40 m, empregando-se o método do trado modificado, conforme descrito por Caires et al. (2008). As amostras foram coletadas na linha de semeadura, sempre entre duas plantas com crescimento normal. Posteriormente, as raízes foram separadas do solo por dispersão em água utilizando-se as seguintes peneiras sobrepostas: ABNT nº 10 (abertura de malha de 2,0 mm), ABNT nº 18 (abertura de malha de 1,0 mm) e ABNT nº 50 (abertura de malha de 0,3 mm). Depois de separadas, foram secas em estufa a 65°C para determinação da massa seca. Os resultados foram expressos em massa seca de raiz por volume de terra amostrado (densidade de massa seca de raiz - DMSR), para cada profundidade amostrada.

Nessa mesma época (estádio R1) foi avaliada a área foliar das plantas de acordo método proposto por Francis et al. (1969). Para esta avaliação foram consideradas apenas as folhas que possuíam 50% ou mais de área verde. De acordo com este método a área de cada folha pode ser estimada pela seguinte equação:

$$AF = C \times L_{m\acute{a}x} \times 0,75$$



Onde:  $AF$  é a área da folha,  $C$  é o comprimento da folha,  $L_{máx}$  é a maior largura da folha e 0,75 é o fator de forma proposto por FRANCIS et al. (1969).

Em uma repetição de cada tratamento todas as folhas de cinco plantas foram medidas. A área foliar da planta nessas parcelas, então, foi determinada pela soma das áreas de todas as folhas da planta. Esses dados foram utilizados para obtenção do fator de multiplicação usado para estimar a área foliar da planta nas demais repetições. O fator é obtido da seguinte forma:

$$f = \frac{\sum AF}{AF_{maior\ folha}}$$

Onde:  $f$  é o fator de multiplicação,  $AF$  é a área de cada folha da planta e  $AF_{maior\ folha}$  é a área da folha abaixo e oposta à espiga. A folha abaixo e oposta à espiga foi utilizada, pois apresentava com maior frequência a maior área.

Nas outras três repetições apenas a área da folha abaixo e oposta à espiga de cinco plantas foi medida. Posteriormente, a área foliar da planta foi estimada multiplicando-se a área da maior folha pelo fator de multiplicação calculado na equação anterior.

Com esses dados foi calculado o índice de área folia (IAF), que é a relação da área foliar da planta pela área explorada pela cultura, obtido da seguinte maneira:

$$IAF = \frac{\text{área foliar média (m}^2\text{)} \times \text{stand (plantas/ha)}}{10.000 \text{ (m}^2\text{)}}$$

O stand foi o determinado em cada parcela por ocasião da colheita.

Por ocasião da colheita foram realizadas amostragens para a determinação dos componentes de produção da cultura. Para a avaliação do número e massa de grãos por espiga foi efetuada a contagem e pesagem dos grãos de cinco espigas representativas de cada parcela. A massa de 1000 grãos foi obtida mediante a coleta, ao acaso, e pesagem de quatro amostras de 1000 grãos. Os dados de

massa de grãos por espiga e massa de 1000 grãos foram corrigidos para 13% de umidade (base úmida).

A produtividade de grãos foi avaliada por meio da colheita das espigas de quatro linhas de cada parcela. As espigas foram, então, debulhadas e os grãos pesados. Os dados foram transformados para  $\text{kg ha}^{-1}$  e corrigidos para 13% de umidade (base úmida).

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ( $P = 0,05$ ) e de regressão. As áreas e anos agrícolas foram avaliadas separadamente.

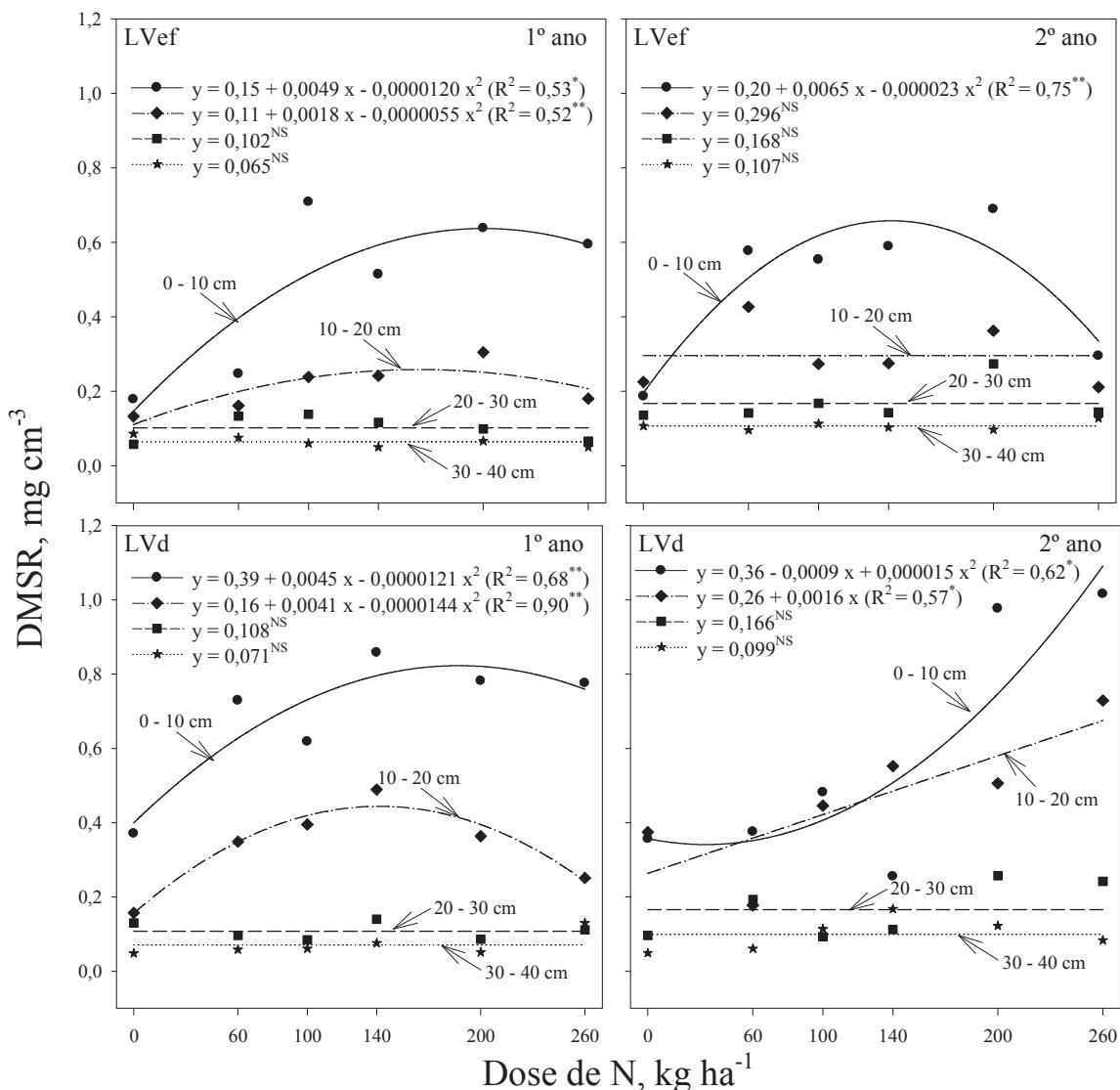
## Resultados e discussão

Entre a semeadura e a maturidade fisiológica das plantas verificou-se precipitação de 824,7 mm no primeiro ano e 1268,6 mm no segundo ano (Figura 1). Em ambos os anos, observaram-se dois períodos caracterizados por nulas ou pequenas precipitações. No primeiro ano estes períodos ocorreram entre 30/01/2010 e 09/02/2010 (11 dias) e entre 02/03/2010 e 21/03/2010 (20 dias), iniciados quando as plantas encontravam-se nos estádios  $V_{11}$  e  $R_2$ , respectivamente. Já, no segundo ano, tais períodos foram observados entre 21/01/2011 e 01/02/2011 (12 dias) e entre 05/02/2011 e 14/02/2011 (10 dias), iniciados quando as plantas encontravam-se, respectivamente, nos estádios  $V_{16}$  e  $R_1$ . Neste último ano, além de maior precipitação, houve melhor distribuição de chuvas (Figura 1).

A adubação nitrogenada influenciou significativamente a densidade de massa seca de raízes (DMSR), em ambos os solos e anos, porém, não em todas as camadas do solo. A adição de N alterou a DMSR até a profundidade de 0,20 m em ambos os solos no primeiro ano e no LVd no segundo ano ( $P < 0,05$ ). A DMSR no LVeF no segundo ano foi influenciada apenas na camada 0 – 0,10 m ( $P < 0,01$ ). Com exceção do que foi observado nos primeiros 0,20 m no LVd no segundo ano, onde houve acréscimo na DMSR até a maior dose de N, nas demais situações que a adubação nitrogenada afetou a DMSR, a aplicação de doses acima de  $140 \text{ kg ha}^{-1}$  de N reduziu ou não mais aumentou a DMSR (Figura 2).

O maior crescimento do sistema radicular do milho em função da adubação nitrogenada também foi observado por Costa et al. (2002). Estes resultados são

importantes, pois o aumento do sistema radicular permite que as plantas explorem maior volume de solo, o que favorece a absorção de água e nutrientes. De acordo com Kamprath (1987), em solos com adequados teores de fósforo (P), o suprimento de N é o principal fator que afeta a concentração de P nas plantas. Isto estaria relacionado à redução do pH da rizosfera e aumento da solubilidade dos fosfatos do solo, mas também ao aumento do crescimento do sistema radicular e da sua capacidade fisiológica de absorção de P, decorrentes da aplicação de N.



**Figura 2.** Densidade de massa seca de raízes (DMSR) de milho em quatro camadas de um Latossolo Vermelho eutrófico (LVef) e um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) por dois anos consecutivos em função das doses de nitrogênio.

O menor crescimento do sistema radicular observado em plantas cultivadas em ambiente com baixa disponibilidade de N tem sido, normalmente, atribuído à competição que ocorreria nessa condição entre raiz e parte aérea pelos produtos da fotossíntese (HIREL et al., 2007), haja vista que, para sua manutenção, crescimento e outras funções, as raízes podem exigir de 25 a 50% dos fotossintatos produzidos na parte aérea (MARSCHNER, 1995).

Sob essa concepção, o menor desenvolvimento radicular em ambiente deficiente em N seria uma consequência do que ocorre na parte aérea das plantas. Todavia, Zhang e Forde (1998) e Zhang et al. (1999) observaram que, assim como em plantas normais, plantas com capacidade limitada de assimilar o nitrato absorvido devido a deficiência na enzima redutase do nitrato, também apresentavam aumento no número e na elongação das raízes laterais ao serem colocadas em solução com alta concentração de nitrato. Em função disso, os estímulos no crescimento radicular pelo fornecimento de N também vêm sendo atribuídos a um efeito sinalizador do nitrato (ZHANG; FORDE, 1998; ZHANG et al., 1999) que proporcionaria o aumento da taxa de produção de células nas pontas das raízes diretamente expostas ao sinal (ZHANG et al., 1999). A habilidade de responder ao suprimento de nitrato com aumento do número e tamanho de raízes laterais, aparentemente, é uma característica comum de várias espécies vegetais (ROBINSON, 1994; HODGE, 2004).

No entanto, é possível observar neste trabalho que a aplicação da maior dose de N ( $260 \text{ kg ha}^{-1}$  de N), em alguns casos, reduziu a DMSR (Figura 2). De acordo com Zhang e Forde (1998), plantas que apresentam baixa concentração de nitrato ao serem expostas a uma solução concentrada de nitrato respondem com o aumento do sistema radicular. Por outro lado, se a concentração de nitrato das plantas for alta, o suprimento uniforme de doses elevadas de nitrato inibe o crescimento de raízes. Essas informações podem contribuir para o entendimento dos casos em que a aplicação de  $260 \text{ kg ha}^{-1}$  de N reduziu a DMSR (Figura 2). Aparentemente, a alta concentração de nitrato na parte aérea gera um sinal de longa distância que regula o desenvolvimento das raízes laterais (SCHEIBLE et al, 1997; ZHANG et al, 1999). A natureza deste sinal ainda é desconhecida, mas cogita-se que a auxina esteja envolvida, devido sua importância como promotor de

crescimento de raízes laterais (BHALERAO et al., 2002). Provavelmente, a alta concentração de nitrato na parte aérea inibe o fluxo de auxina para a raiz (FORDE, 2002).

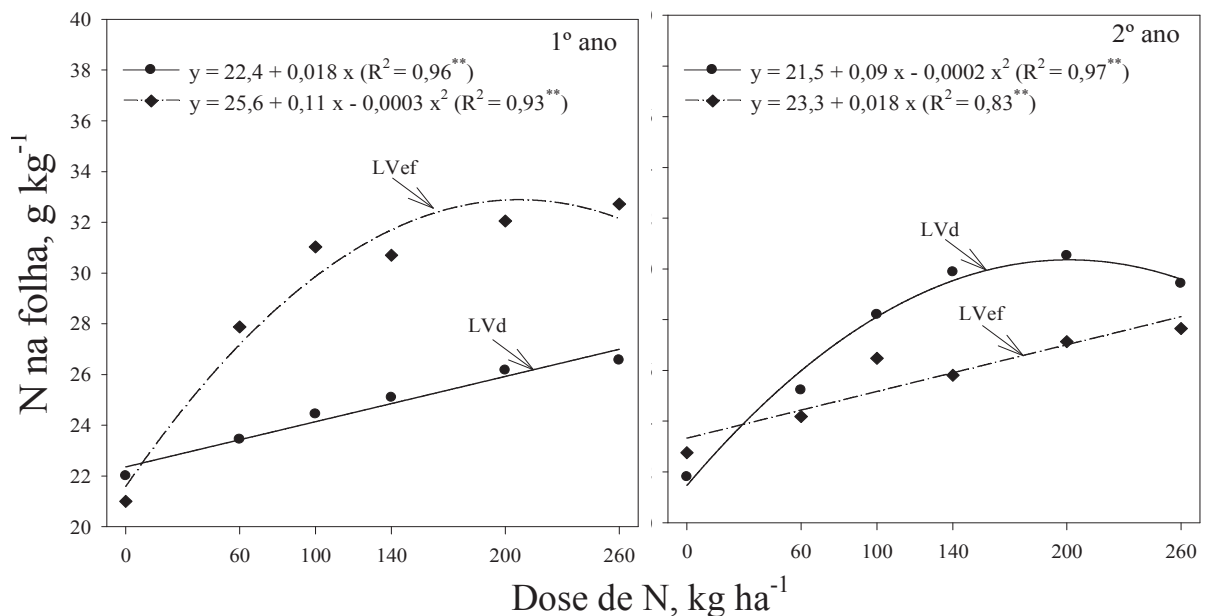
O efeito da adubação nitrogenada na DMSR verificado apenas nas camadas superiores do solo (até 0,20 m), provavelmente, deve-se às características granulométricas dos solos. São solos de textura média (LVd) e argilosa (LVef), o que, comparativamente a solos arenosos, desfavorecem a movimentação do nutriente no perfil do solo, concentrando seus efeitos nas camadas mais superficiais.

Em média, 78% da quantidade de raízes encontravam-se nas camadas 0 - 0,10 m e 0,10 - 0,20 m e 22% nas demais camadas (dados não apresentados). Estes resultados são muito próximos dos observados por Bassoi et al. (1994) para milho cultivado em solo argiloso. Considerando a mesma profundidade de amostragem, esses autores observaram ao aplicar  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de N na forma líquida (Uran) que, aproximadamente, 73% da quantidade de raízes do milho concentravam-se nos primeiros 0,20 m de solo e o restante até 0,40 m.

O aumento das doses de N incrementou significativamente a concentração deste nutriente na folha coletada para a diagnose foliar, nos dois anos agrícolas e solos ( $P < 0,01$ ) (Figura 3). Cantarella et al. (1997) sugerem que plantas adequadamente nutridas em N devem apresentar, no terço médio da folha da base da espiga coletada por ocasião do pendoamento, concentrações entre 27 e  $35 \text{ g kg}^{-1}$  de N. Observa-se na Figura 3, que no primeiro ano as plantas cultivadas no LVef atingiram o limite inferior desta faixa ( $27 \text{ g kg}^{-1}$  de N) com a aplicação estimada de  $58 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. No entanto, aquelas cultivadas no LVd não atingiram este valor, independentemente da dose. No segundo ano, apenas após as doses estimadas acima de 79 e  $175 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, para o LVd e LVef respectivamente, as plantas apresentavam concentrações de N acima de  $27 \text{ g kg}^{-1}$  de N.

Adotando esse critério na interpretação das concentrações de N na folha obtidos neste trabalho, conclui-se que durante o primeiro ano, as plantas cultivadas no LVd não estavam adequadamente nutridas em N, independentemente da dose do nutriente. No entanto, esse diagnóstico contrasta com a aparência das plantas que receberam N, pois nestas plantas não foi constatado sintoma característico do distúrbio nutricional durante o ciclo da cultura. Nesse caso, o diagnóstico parece

inválido e isto é reforçado pela baixa probabilidade de ocorrer “fome oculta” com a aplicação de doses acima de  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. Plantas sadias proporcionando produtividades satisfatórias mesmo com teores foliares de nitrogênio abaixo de  $27 \text{ g kg}^{-1}$  também foram observadas por Farinelli e Lemos (2012). Por outro lado, Amaral filho et al. (2005) e Gomes et al. (2007) verificaram teores de N acima deste limiar nas folhas de plantas que não receberam N e proporcionaram pequena produtividade de grãos. Estes resultados demonstram as limitações da faixa de suficiência como método de diagnóstico do estado nutricional nitrogenado da cultura do milho.

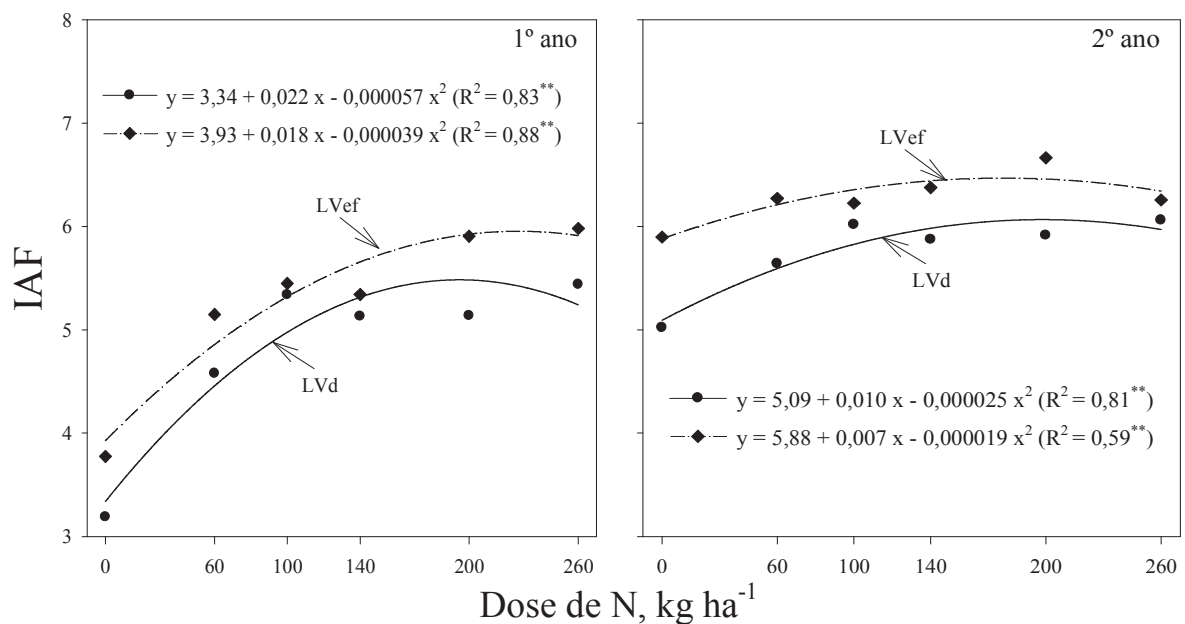


**Figura 3.** Concentração de N na folha de plantas de milho cultivadas em um Latossolo Vermelho eutroférico (LVef) e um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) por dois anos consecutivos em função das doses de nitrogênio.

Uma vez que a concentração de N vai diminuindo à medida que as plantas vão crescendo, a característica mais importante que um método deve ter é considerar a diluição do nutriente no tecido vegetal. O único método que considera esse fenômeno é a curva crítica de diluição de N. Por este método pode-se determinar a concentração de N adequada a qualquer valor de massa seca da parte aérea (LEMAIRE, 1997). Mesmo com essas características singulares, a curva ainda não foi determinada e validada para o milho cultivado em condições tropicais.

Em ambos os anos e solos, as plantas que não receberam N apresentaram sintomas típicos de deficiência desse nutriente a partir do estágio V<sub>4</sub>, apresentando, em relação às plantas de outros tratamentos, menor altura, atraso de ciclo, colmos mais finos, folhas com coloração mais clara e, na fase de enchimento de grãos, amarelecimento generalizado e senescência precoce das folhas mais velhas. Essas plantas apresentavam concentrações foliares de 21,0 a 22,7 g kg<sup>-1</sup> de N.

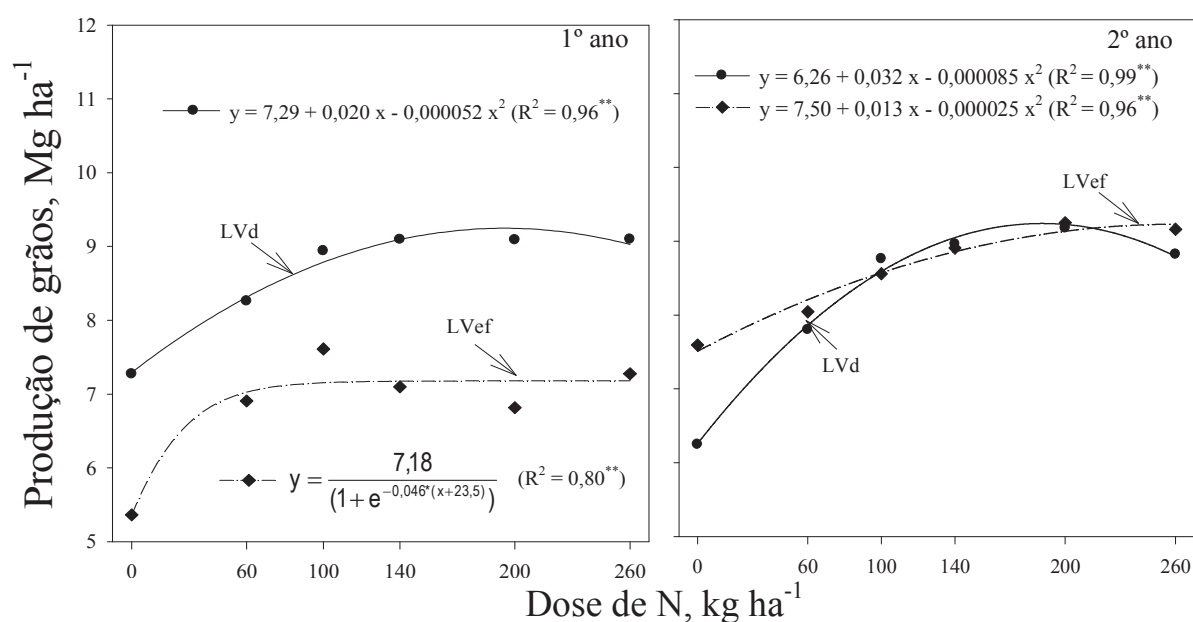
O índice de área foliar (IAF) também foi significativamente influenciado pelo fornecimento de N ( $P < 0,01$ ), em ambos os solos e anos agrícolas (Figura 4). Verifica-se que o IAF aumentou ao se incrementar a dose de N. O aumento do IAF devido a maior disponibilidade de N também foi observado por Oscar e Tollenaar (2006), Amanullah et al. (2007) e Veloso et al. (2009). Esse resultado, provavelmente, está relacionado com o aumento da absorção/acúmulo de N, que não é só resultado da maior quantidade de N no solo devido à adubação, mas também da maior capacidade de exploração do solo das raízes das plantas que receberam o nutriente (Figura 2).



**Figura 4.** Índice de área foliar (IAF) de plantas de milho cultivadas em um Latossolo Vermelho eutrófico (LVef) e um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) por dois anos consecutivos em função das doses de nitrogênio.

A maior disponibilidade de N pode favorecer a formação de tecidos vegetais devido a maior produção de fotossintatos, uma vez que o N possui importante função no processo fotossintético e também atua no alongamento celular (MARSCHNER, 1995). Aliado a isso, o aumento da área foliar proporciona maior interceptação da radiação fotossinteticamente ativa e, concomitantemente, quando a disponibilidade de N é adequada, a eficiência na conversão da luz interceptada em massa seca também pode aumentar, contribuindo ainda mais para elevar a área foliar das plantas (ARGENTA et al., 2001).

A adubação nitrogenada aumentou a produtividade de grãos ( $P < 0,01$ ), em todos os anos e solos (Figura 5). Observa-se, na Figura 5, que as doses que proporcionaram a máxima produção de grãos foram contrastantes. No primeiro ano, no LVef, a produção de  $7,0 \text{ Mg ha}^{-1}$  foi obtida com a aplicação de  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. No LVd, porém, a máxima produção de grãos foi obtida com a aplicação de  $192 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. No segundo ano, a máxima produção no LVef foi obtida com a dose de  $219 \text{ kg ha}^{-1}$  de N e, no LVd, com a aplicação total de  $199 \text{ kg ha}^{-1}$  de N.



**Figura 5.** Produção de grãos de milho cultivado em um Latossolo Vermelho eutroférico (LVef) e um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) por dois anos consecutivos em função das doses de nitrogênio.



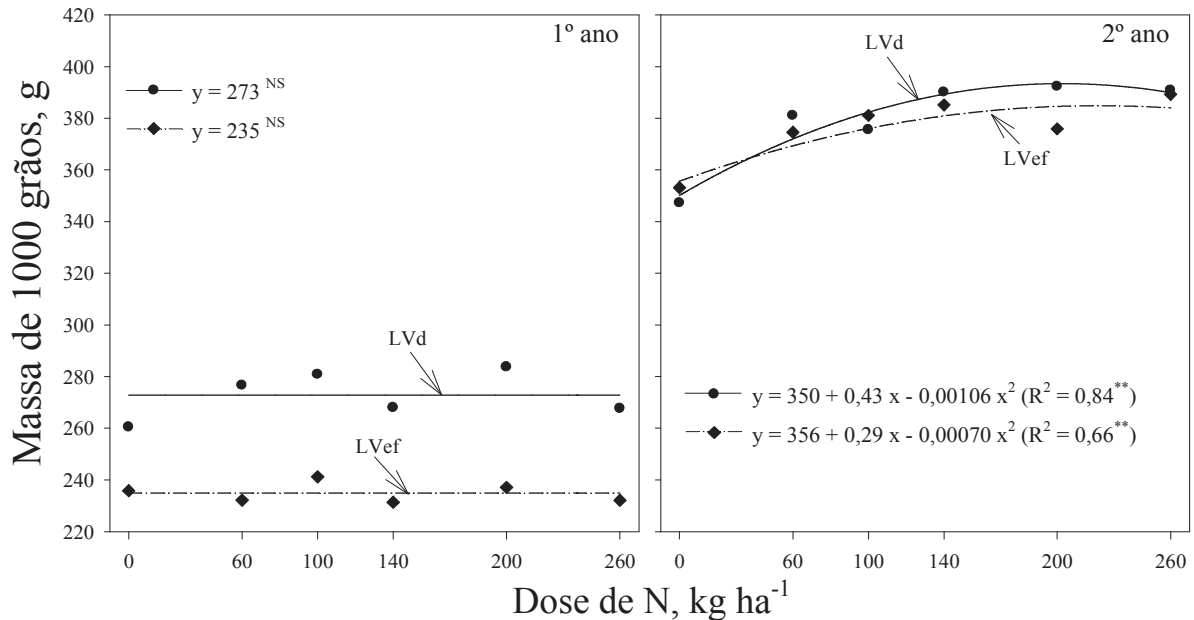
A influência da adubação nitrogenada para a cultura do milho, em diferentes sistemas de cultivo, também foi demonstrada por Silva et al. (2005), Lourente et al. (2007), Veloso et al. (2006), Duete et al. (2008), Farinelli e Lemos (2010, 2012). Porém, o efeito da adubação nitrogenada mostra-se bastante contrastante entre locais e anos agrícolas. Farinelli e Lemos (2010, 2012) verificaram, em um mesmo local e para um único cultivar (DKB 466), que no ano agrícola de 2004/05 a aplicação de 92 kg ha<sup>-1</sup> de N propiciou a máxima produtividade de grãos de milho (10,5 Mg ha<sup>-1</sup>). No entanto, em 2005/06, foram necessários 151 kg ha<sup>-1</sup> de N para que a cultura produzisse 8,9 Mg ha<sup>-1</sup> de grãos.

A maior dose necessária para a obtenção da máxima produção no segundo ano, provavelmente, deve-se a menor quantidade de N disponível neste ano e pela maior capacidade de resposta à adubação devido à melhor sanidade da cultura. As produtividades de grãos esperadas (10 – 12 Mg ha<sup>-1</sup>) não foram alcançadas, provavelmente, devido aos períodos de estiagem (Figura 1) que ocorreram em estádios fenológicos importantes para a determinação da produção da cultura.

A baixa produtividade obtida no primeiro ano no LVef, mesmo com a aplicação altas doses de N, possivelmente, deve-se a grande incidência e severidade de doenças foliares (*Puccinia polysora* e *Phaeosphaeria maydis*) neste ano. Por conta da posição da área experimental na paisagem (baixada) e do alto teor de argila do solo desta área, pode-se ter criado um microclima adequado ao desenvolvimento destas doenças, devido à manutenção de alta umidade no interior do dossel por um maior período de tempo. A severidade das doenças foi visualmente maior nas parcelas onde foram aplicadas as maiores doses de N (140, 200 e 260 kg ha<sup>-1</sup> de N). Embora tenha-se constatado estas doenças nas plantas cultivadas no LVd, sua severidade foi menor e acometeu, principalmente, as primeiras folhas do “baixeiro” das plantas que têm menor contribuição no enchimento de grãos.

A produção de grãos de milho é determinada pelos componentes de produção, sobretudo pela massa de 1000 grãos e número de grãos de por espiga. Observa-se na Figura 6 que apenas no segundo ano a massa de 1000 grãos foi influenciada pelas doses de N ( $P < 0,01$ ). Neste ano houve aumento deste componente de produção com o incremento das doses de N. Lourente et al. (2007) e

Silva et al. (2005) também verificaram que a massa de grãos foi superior ao se aplicar N.



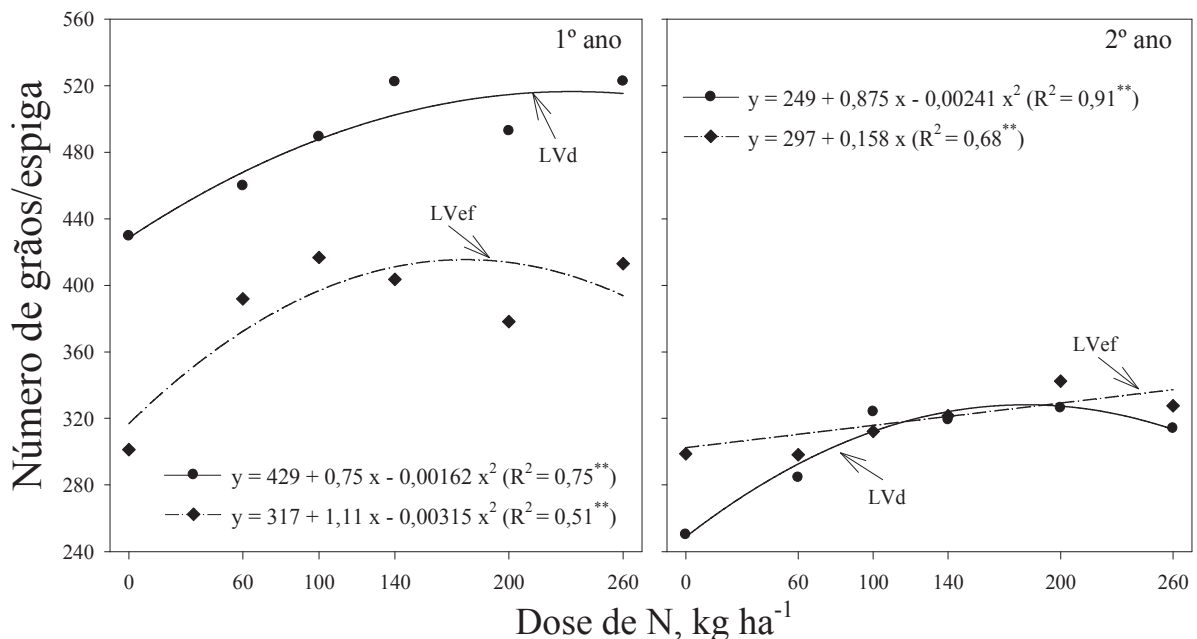
**Figura 6.** Massa de 1000 grãos de milho cultivado em um Latossolo Vermelho eutrófico (LVef) e um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) por dois anos consecutivos em função das doses de nitrogênio.

Acredita-se que o efeito da adubação nitrogenada na massa de 1000 grãos seja devido a alterações hormonais nas plantas, pois a síntese e translocação da citocinina são condicionadas pelo N (TAIZ; ZEIGER, 2009) e, no processo de desenvolvimento do grão, a citocinina parece ter grande importância, uma vez que controla a formação das células do endosperma do grão (MENGEL; KIRKBY, 2001). Ainda, segundo Taiz e Zeiger (2009), o enchimento do grão não é primariamente limitado pelo suprimento de fotossintatos, mas é bastante influenciado pela atividade da citocinina. Nesse sentido, Zhang et al. (2010) observaram que o enchimento e a massa do grão estão relacionados com o conteúdo de citocinina nas espiguetas.

Todavia, as plantas que não receberam N, sobretudo no segundo ano, apresentaram folhas menores e, aquelas da parte inferior das plantas, entraram precocemente em processo de senescência, levando, provavelmente, a uma menor taxa fotossintética. De acordo com Mengel e Kirkby (2001), essa senescência precoce sob condições de carência de N, provavelmente está relacionada com a

influência do N na síntese e translocação da citocinina, a qual é reduzida quando a nutrição nitrogenada é inadequada. Adicionalmente, nas parcelas testemunhas (sem N), as plantas apresentavam a palha da espiga bem seca, indicando que na insuficiência de N o período efetivo de enchimento de grãos pode ter sido reduzido. Esses fatores, certamente, contribuíram de forma significativa para a formação de grãos mais leves.

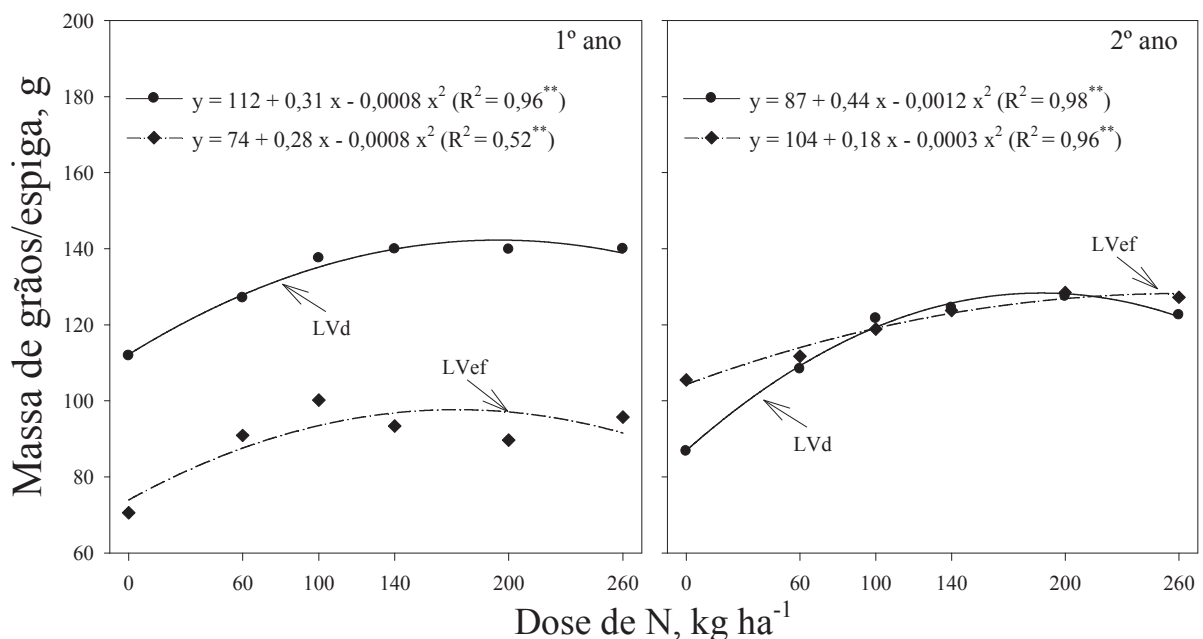
Quanto ao número de grãos por espiga, verifica-se na Figura 7 que, em ambos os anos e solos, a adubação nitrogenada influenciou positivamente essa variável ( $P < 0,01$ ). Em comparação à massa de 1.000 grãos, aparentemente, o número de grãos por espiga sofre maior influência dos fatores ambientais e, por conta disso, esse componente de produção é o que mais influencia a produção de grãos de milho (MAYER et al., 2012). À semelhança do observado nesse experimento, Andrade et al. (2002) e Mayer et al. (2012), também verificaram que a adubação com N aumentou o número de grãos por espiga.



**Figura 7.** Número de grãos por espiga de milho cultivado em um Latossolo Vermelho eutrófico (LVef) e um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) por dois anos consecutivos em função das doses de nitrogênio.

De acordo com Below et al. (2000), o N tem efeito direto no desenvolvimento reprodutivo, controlando a capacidade do grão em utilizar o carbono. No entanto, D'andrea et al. (2008) demonstraram que os efeitos de doses contrastantes de N no número de grãos por planta eram devidos à influência do nutriente na partição de carbono para a espiga (efeito indireto) e não à redução da concentração de N na espiga (efeito direto), pois a relação C/N era muito estável nas estruturas reprodutivas. No mesmo sentido, Andrade et al. (2002) e Mayer et al. (2012) verificaram que existe uma estreita relação entre o número de grãos por espiga e a taxa de crescimento da planta durante o período reprodutivo e, provavelmente, os efeitos do suprimento de N estão mais relacionados à menor partição de matéria seca para a espiga durante o período crítico para a determinação do número de grãos.

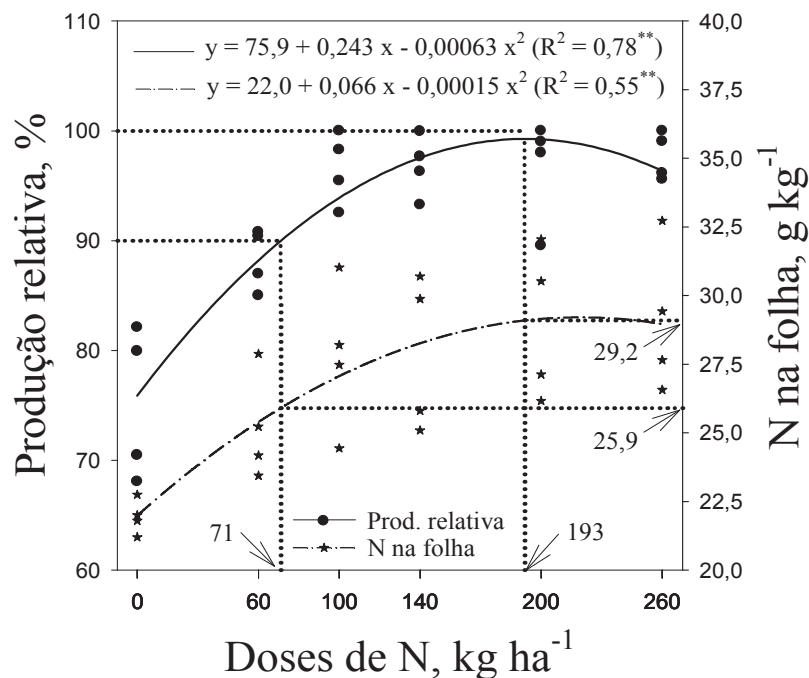
Como consequência dos resultados observados para a massa de 1.000 grãos e número de grãos por espiga, a massa de grãos por espiga também foi influenciada pela adubação nitrogenada ( $P < 0,01$ ), em ambos os solos e anos (Figura 8).



**Figura 8.** Massa de grãos por espiga de milho cultivado em um Latossolo Vermelho eutrófico (LVef) e um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) por dois anos consecutivos em função das doses de nitrogênio.

Pelas Figuras 6 e 7 é possível notar que, no primeiro ano, a massa de grãos por espiga foi determinada exclusivamente pelas variações no número de grãos por espiga, que acabou determinando a produção da cultura. Já, no segundo ano, a massa de grãos por espiga e também a produção de grãos, foram determinadas pelas variações concomitantes na massa de 1.000 grãos e número de grãos por espiga, no entanto, com maior contribuição deste último componente de produção. Nestas mesmas figuras pode-se ainda verificar que, em ambos os solos, no primeiro ano a massa de 1000 grãos foi inferior à observada no segundo ano. Porém, para o número de grãos por espiga o inverso foi verificado, acabando por reduzir as diferenças na massa de grãos por espiga e produção de grãos observadas entre os anos. Provavelmente, há um processo de compensação entre estes componentes de produção.

Procurou-se, com o objetivo de subsidiar o manejo da adubação com esse nutriente, estabelecer a dose que proporciona a máxima eficiência técnica e a faixa de suficiência de N para o milho, considerando-se os dados dos dois anos agrícolas e solos.



**Figura 9.** Dose para máxima produção de grãos e faixa de suficiência de N na folha de plantas de milho.

Observa-se na Figura 9 que a dose que proporcionou a maior produção de grãos foi  $193 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. A faixa de suficiência esteve entre  $25,9$  e  $29,2 \text{ g kg}^{-1}$  de N. A dose que propicia a máxima eficiência técnica tem sido contrastantes entre os trabalhos disponíveis na literatura, pois o efeito da adição de N na cultura do milho mostra-se bastante dependente do histórico da área e das condições climáticas do ano agrícola (FARINELLI; LEMOS, 2012), o que dificulta comparações.

Pela faixa de suficiência determinada neste trabalho, plantas de milho com concentração de N na folha acima de  $25,9 \text{ g kg}^{-1}$  são consideradas adequadamente nutridas em N. O mesmo não ocorre ao se adotar a faixa proposta por Cantarella et al. (1997), que tem como limite inferior a concentração de  $27 \text{ g kg}^{-1}$  de N na mesma folha.

## Conclusões

A adubação nitrogenada incrementou a densidade de massa seca de raízes nas camadas superficiais dos solos, o índice de área foliar, a concentração de N na folha e a produção de grãos de milho.

O aumento na produção de grãos deveu-se, principalmente, ao incremento no número de grãos por espiga em função da adição de N.

A dose média total para a máxima produção de grãos foi  $193 \text{ kg ha}^{-1}$  de N.

A faixa de suficiência de N na folha das plantas de milho situou-se entre  $25,9$  e  $29,2 \text{ g kg}^{-1}$ .

## Referências

AMANULLAH, M.J.H.; NAWAB, K.; ALI, A. Response of specific leaf area (SLA), leaf area index (LAI) and leaf area ratio (LAR) of maize (*Zea mays* L.) to plant density, rate and timing of nitrogen application. **World Applied Sciences Journal**, v.2, p.235-243, 2007.

AMARAL FILHO, J.P.R. do; FORNASIERI FILHO, D.; FARINELLI, R.; BARBOSA, J.C. Espaçamento, densidade populacional e adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.467-473, 2005.

ANDRADE, F.H.; ECHARTE, L.; RIZALLI, R.; DELLA MAGGIORA, A.; CASANOVAS, M. Kernel number prediction in maize under nitrogen or water stress. **Crop Science**, v.42, p.1173-1179, 2002.

ARAUJO, L.A.N.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. da. Adubação nitrogenada na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.771-777, 2004.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da; SANGOI, L. Arranjo de plantas em milho: análise do estado-da-arte. **Ciência Rural**, v.31, p.1075-1084, 2001.

BASSOI, L.H.; FANTE JÚNIOR, L.; JORGE, L.A.C.; CRESTANA, S.; REICHARDT, K. Distribuição do sistema radicular do milho em Terra Roxa Estruturada Latossólica: II. Comparação entre cultura irrigada e fertirrigada. **Scientia Agricola**, v.51, p.541-548, 1994.

BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78)

BELOW, F.E.; CAZETTA, J.O.; SEEBAUER, J.R. Carbon/nitrogen interactions during ear and kernel development of maize. In: WESTGATE, M.; BOOTE, K. (eds.) Physiology and modeling kernel set in maize. CSSA Spec. Publ. 29. CSSA. Madison, WI. p.15-24, 2000.

BHALERAO, R.P.; EKLOF, J.; LJUNG, K.; MARCHANT, A.; BENNETT, M.; SANDBERG, G. Shoot-derived auxin is essential for early lateral root emergence in Arabidopsis seedlings. **Plant Journal**, v.29, p.325-332, 2002.

CAIRES, E..F.; GARBUIO, F.J.; CHURKA, S.; BARTH, G.; CORRÊA, J.C.L. Effects of soil acidity amelioration by surface liming on no-till corn, soybean, and wheat root growth and yield. **European Journal of Agronomy**, v.28, p.57-64, 2008.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van; CAMARGO, C.E. de O. Cereais. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997. p.43-50. (Boletim Técnico, 100).

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, quarto levantamento, janeiro 2013**. Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília: Conab, 2013. 28p.

COSTA, C.; DWYER, L.M.; ZHOU, X.; DUTILLUL, P.; HAMEL, C.; REID, L.M.; SMITH, D.L. Root morphology of contrasting maize genotypes. **Agronomy Journal**, v.94, p.96-101, 2002.

D'ANDREA, K.E.; OTEGUI, M.E.; CIRILO, G.A. Kernel number determination differs among maize hybrids in response to nitrogen. **Field Crops Research**, v.105, p.228-239, 2008.

DUETE, R.R.C.; MURAOKA, T.; SILVA, E.C.; TRIVELIN, P.C.O.; AMBROSANO, E.J. Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio (<sup>15</sup>N) pelo milho em latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.161-171, 2008.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

FARINELLI, R.; LEMOS, L.B. Nitrogênio em cobertura na cultura do milho em preparo convencional e plantio direto consolidados. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.42, p.63-70, 2012.



FARINELLI, R.; LEMOS, L.B. Produtividade e eficiência agrônômica do milho em função da adubação nitrogenada e manejos do solo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.9, p.135-146, 2010.

FERNANDES, F.C.S.; BUZETTI, S.; ARF, O.; ANDRADE, J.A. da C. Doses, eficiência e uso de nitrogênio por seis cultivares de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.4, p.195-204, 2005.

FORDE, B.G. Local and long-range signalling pathways regulating plant responses to nitrate. **Annual Review of Plant Biology**, v.53, p.203–224, 2002.

FRANCIS, C.A.; RUTGER, J.N.; PALMER, A.F.E. A rapid method for plant leaf area estimation in maize (*Zea mays*L.). **Crop Science**, v.9, p.537-539, 1969.

GOMES, R.F.; SILVA, A.G. da; ASSIS, R.L. de; PIRES, F.R. Efeito de doses e época de aplicação de nitrogênio nos caracteres agrônômicos da cultura do milho sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.931-938, 2007.

HIREL, B.; GOUIS, J.L.; NEY, B.; GALLAIS, A. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. **Journal of Experimental Botany**, v.58, p.2369-2387, 2007.

HODGE, A. The plastic plant: root responses to heterogeneous supplies of nutrients. **New Phytologist**, v.162, p.9–24, 2004.

KAMPRATH, E.J. Enhanced phosphorus status of maize resulting from nitrogen fertilization of high phosphorus soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.51, p.1522-1526, 1987.

LEITE, G.H.M.N.; ELTZ, F.L.F.; AMADO, T.J.C.; COGO, N.P. Atributos químicos e perfil de enraizamento de milho influenciados pela calagem em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.685-693, 2006.

LEMAIRE, G. **Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops**. New York: Springer, 1997. 239 p.

LOURENTE, E.R.P.; ONTOCELLI, R.; SOUZA, L.C.F. de; GONÇALVES, M.C.; MARCHETTI, M.E.; RODRIGUES, E.T. Culturas antecessoras, doses e fontes de nitrogênio nos componentes de produção do milho. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.29, p.55-61, 2007.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. 2ed. Academic Press, San Diego, CA, USA, 1995. 889p.

MAYER, L.I.; ROSSINI, M.A.; MADDONI, G.A. Inter-plant variation of grain yield components and kernel composition of maize crops grown under contrasting supply. **Field Crops Research**, v.125, p.98-108, 2012.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 5.ed. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2001. 849 p.

MOLL, R.H.; KAMPRATH, E.J.; JACKSON, W.A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency to nitrogen utilization. **Agronomy Journal**, v.74, p.562-564, 1982.

OSCAR, R.V.; TOLLENNAR, M. Effect of acquisition of resources needed for growth and genotype, nitrogen, plant density and row spacing development. **Agronomy Journal**, v.98, p.94-99, 2006.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. Milho para grãos e silagem. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Eds.) **Recomendações de**

**adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997. p.263-273. (Boletim Técnico, 100)

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 284p.

ROBINSON, D. The responses of plants to non-uniform supplies of nutrients. **New Phytologist**, v.127, p.635–674, 1994.

SANTOS, M.M.; GALVÃO, J.C.C; SILVA, R.I.; MIRANDA, G.V.; FINGER, F.L. Épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do milho em plantio direto, e alocação do nitrogênio ( $^{15}\text{N}$ ) na planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1185-1194, 2010.

SCHEIBLE, W.R.; LAUERER, M.; SCHULZE, E.D.; CABOCHE, M.; STITT, M. Accumulation of nitrate in the shoot acts as a signal to regulate shoot–root allocation in tobacco. **Plant Journal**, v.11, p.671–691, 1997.

SILVA, E.C.; BUZETTI, S.; GUIMARÃES, G.L.; LAZARINI, E.; SÁ, M.E. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.353-362, 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4. Ed. Artmed, Porto Alegre, RS, Brasil, 2009.

VELOSO, M.E. da C.; DUARTE, S.N.; DOURADO NETO, D.; MIRANDA, J.H.; SILVA, E.C. da; SOUSA, V.F. de. Doses de nitrogênio na cultura do milho, em solos de várzea, sob sistema de drenagem subterrânea. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 5, p.382-394, 2006.

VELOSO, M.E. da C.; DUARTE, S.N.; DOURADO NETO, D.; SILVA, E.C. da; PEREIRA, C.R. Teor de nitrogênio, índices de área foliar e de colheita, no milho, em função da adubação nitrogenada, em solo de várzea. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.8, p.13-25, 2009.

ZHANG, H.; CHEN, T.; WANG, Z.; YANG, J.; ZHANG, J. Involvement of cytokinins in the grain filling of rice under alternate wetting and drying irrigation. **Journal of Experimental Botany**, v.61, p.3719-3733, 2010.

ZHANG, H.; FORDE, B.G., An *Arabidopsis* MADS box gene that controls nutrient-induced changes in root architecture. **Science**, p.279, 407, 1998.

ZHANG, H.M.; JENNINGS, A.; BARLOW, P.W.; FORDE, B.G. Dual pathways for regulation of root branching by nitrate. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA**, v.96, p.6529–6534, 1999.

### **CAPÍTULO 3 – Curva crítica de diluição de nitrogênio para a cultura do milho**

**Resumo** - O conhecimento da curva crítica de diluição de N permite o diagnóstico da nutrição nitrogenada de uma cultura durante grande parte de seu ciclo de crescimento. Assim, com o objetivo de determinar e validar a curva crítica de diluição de N para a cultura do milho foram conduzidos, na região de Jaboticabal/SP, dois experimentos por dois anos consecutivos em áreas com solos de diferentes texturas (Latosolo Vermelho eutroférico argiloso - LVef e Latossolo Vermelho distrófico textura média - LVd). O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados com seis tratamentos, que consistiram de doses de N (0, 60, 100, 140, 200 e 260 kg ha<sup>-1</sup>). Vinte e duas amostragens da parte aérea das plantas foram realizadas, durante os estádios V<sub>6</sub> e R<sub>3</sub>, para a determinação da produção de massa seca da parte aérea (MS) e concentração de N. Por meio destes dados, calculou-se a concentração crítica de N na parte aérea das plantas (N<sub>crit</sub>) em 12 épocas do ciclo de crescimento da cultura. A curva crítica de diluição do N em plantas de milho foi obtida ajustando-se estes valores de N<sub>crit</sub> à função potencial  $N_{crit} = a MS^{-b}$ . A curva crítica de diluição de N, determinada e validada para o milho cultivado na região de Jaboticabal/SP, é  $N_{crit} = 32,1 MS^{-0,31}$  e é válida para MS entre 1,36 e 11,22 Mg ha<sup>-1</sup>. A generalização do uso de uma curva crítica de diluição para diversas condições edafoclimáticas deve ser evitada.

**Palavras-chave:** *Zea mays*, diagnose nutricional, N crítico, doses de N.

#### **Introdução**

A análise de N no solo não tem sido eficiente na previsão da sua disponibilidade às plantas. Em função disto, a análise do N na própria planta ganha importância no manejo da adubação nitrogenada. Para o milho, o diagnóstico do estado nutricional tem sido realizado, principalmente, pelos critérios de nível crítico ou faixa de suficiência, definidos, normalmente, para o estágio de pendramento (V<sub>T</sub>)

ou florescimento feminino ( $R_1$ ). A grande limitação destes métodos é que, nos casos em que se detecta situação de insuficiência de N, não existe mais a possibilidade de correção da deficiência no mesmo ciclo da cultura, pois a produção já estaria comprometida.

A medida indireta da clorofila por meio do clorofilômetro é outro método que tem recebido atenção dos pesquisadores, pois trata-se de um método rápido e não destrutivo. No entanto, baixos coeficientes de determinação têm sido observados ao se relacionar a produção relativa de grãos de milho às leituras do clorofilômetro nas plantas em estádios de  $V_6$  a  $V_{10}$  (BULLOCK; ANDERSON, 1998). Ainda, mesmo em estágio mais avançado de desenvolvimento da cultura ( $V_{12}$ ), Ziad et al. (2008b) verificaram que as relações entre as leituras do clorofilômetro e produção relativa de grãos de milho foram significativamente influenciadas pelas condições edáficas e anos de produção.

Uma vez que a concentração de N na parte aérea de plantas que formam dosséis densos diminui progressivamente à medida que elas crescem, e o milho tem a característica de absorver mais N do que o requerido para a máxima produção de massa seca da parte aérea (MS), em princípio, seria possível determinar a concentração crítica de N na parte aérea das plantas ( $N_{crit}$ ), ou seja, a concentração mínima de N requerida para a máxima MS em todo seu ciclo (LEMAIRE; GASTAL, 1997). Na França, Plénet e Lemaire (2000) verificaram, para o intervalo entre a emergência das plantas até 25 dias após o florescimento, que a relação entre a  $N_{crit}$  e a produção de massa seca da parte aérea do milho pode ser representada pela função potência  $N_{crit} = a MS^{-b}$ , em que  $N_{crit}$  é a concentração de N crítica na massa seca da parte aérea, em  $g\ kg^{-1}$ ; MS é a massa seca da parte aérea, em  $Mg\ ha^{-1}$ ; e  $a$  e  $b$  são os parâmetros de ajuste do modelo.

Por meio desta relação é possível avaliar a nutrição nitrogenada das plantas a qualquer momento que se situe dentro do intervalo em que ela é válida. Esta curva é chamada de “curva crítica de diluição de N” e permite distinguir três situações nutricionais: deficiência de N, abaixo dela, excesso de N (consumo de luxo), acima dela, e nutrição nitrogenada ótima, sobre ela.

A eficiência da curva crítica de diluição como método de diagnóstico nutricional tem sido estudada em diversas culturas e, especificamente para o milho,

foi comprovada na França (PLÉNET; LAMEIRE, 2000), Alemanha (HERRMANN; TAUBE, 2004), Canadá (ZIADI et al., 2008a) e China (LI et al., 2012). Porém, apesar de suas vantagens, não foi determinada e validada para o milho cultivado em condições de clima tropical.

De acordo com Herrmann e Taube (2004), os coeficientes da curva crítica parecem ser bastante estáveis e, portanto, a curva determinada por Plénet e Lemaire (2000) na França poderia ser utilizada para diagnosticar o estado nutricional do milho cultivado em regiões com diferentes condições edafoclimáticas. Ziadi et al. (2008a), no leste do Canadá, também testaram a curva obtida por Plénet e Lemaire (2000) para o milho e concluíram que esta curva poderia ser utilizada para aquelas condições. Porém, esta generalização de uso ainda deve ser avaliada, haja vista que Li et al. (2012), no nordeste da China, obtiveram uma curva crítica de diluição de N no milho com parâmetros diferentes da publicada por Plénet e Lemaire (2000).

Assim, objetiva-se com o presente trabalho determinar e avaliar a eficiência da curva crítica de diluição de N no diagnóstico da nutrição nitrogenada da cultura do milho em região de clima tropical.

## **Material e métodos**

Foram conduzidos dois experimentos em condições de campo por dois anos consecutivos (2009 e 2010) em áreas da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Produção da UNESP - Campus de Jaboticabal - SP, localizadas próximo à latitude de 21° 14' 05" sul e longitude de 48° 17' 09" oeste, a uma altitude de 613 m, com clima, segundo classificação de Köppen, Aw (clima megatérmico).

Os solos das áreas são classificados, segundo critérios da EMBRAPA (2006), como Latossolo Vermelho eutrófico argiloso (LVef) e Latossolo Vermelho distrófico textura média (LVd). As áreas vinham sendo cultivadas em sistema convencional (uma aração e duas gradagens) com a cultura do milho durante o verão e permaneciam em pousio durante o inverno por, no mínimo, cinco anos.

Antes da instalação dos experimentos, no ano de 2009, foram coletadas amostras de solo das áreas experimentais e realizada a análise química para fins de

fertilidade, de acordo com métodos descritos por Raji et al. (2001). Os resultados estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Atributos químicos e teor de argila dos solos na camada superficial (0 – 0,20 m) antes da instalação dos experimentos.

Solo	pH (CaCl <sub>2</sub> )	MO	P (resina)	K	Ca	Mg	H+Al	CTC	V	Argila
		g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	-----		mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	-----		%	g kg <sup>-1</sup>
LVd	5,0	18	25	1,4	21	11	34	67,4	50	300
LVef	4,5	28	20	3,2	19	10	58	90,2	36	660

Nas duas áreas as parcelas foram dispostas em delineamento experimental em blocos casualizados, com seis tratamentos e quatro repetições. As parcelas constaram de 10 linhas de sete metros de comprimento. Foi considerada como área útil de cada parcela as oito linhas centrais, desprezando-se 0,5 m do início e do fim de cada parcela. As parcelas e blocos foram separados por carregadores de um e dois metros, respectivamente.

Os tratamentos foram os mesmos para as duas áreas e constaram de seis doses de N (0, 60, 100, 140, 200 e 260 kg ha<sup>-1</sup>). Nas parcelas que receberam o nutriente, foram aplicados 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura e o restante em cobertura quando as plantas apresentavam cinco folhas completamente desenroladas. A fonte nitrogenada utilizada para a adubação de cobertura foi a uréia.

Com base na análise química do solo (Tabela 1), três meses antes da instalação dos experimentos foi realizada a calagem, procurando-se elevar a saturação por bases a 70%, conforme recomendação de Raji e Cantarella (1997) para a cultura do milho. Após a aplicação, o calcário foi incorporado ao solo até, aproximadamente, 0,20 m de profundidade.

O preparo do solo, em sistema convencional, foi realizado por meio de uma aração e duas gradagens. Em ambos os anos e áreas, com o solo já preparado, procedeu-se a semeadura do híbrido de milho Pioneer 30F35H, recomendado para a região e resistente a lagarta-do-cartucho. Adotou-se o espaçamento entrelinhas de 0,90 m e procurou-se obter uma população final de 60.000 plantas por hectare.

Nas duas áreas e também nos dois anos, naquelas parcelas que receberam N, a adubação de semeadura constou da aplicação de 20 kg ha<sup>-1</sup> de N, 70 kg ha<sup>-1</sup> de



$P_2O_5$  e  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$ , fornecidos, respectivamente, na forma de uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio. Nas demais parcelas (sem N) foram fornecidos apenas P e K nas doses citadas acima, utilizando como fonte uma mistura de superfosfato simples e cloreto de potássio. No LVd, além da aplicação de N, também foram aplicados, em cobertura,  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$  (cloreto de potássio) nos dois anos. No LVeF o K foi aplicado em cobertura apenas no segundo ano, na dose de  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$  (cloreto de potássio). Em ambas as áreas foi aplicado, antes da semeadura do primeiro ano,  $1 \text{ kg ha}^{-1}$  de Zn, utilizando como fonte o sulfato de zinco.

Entre os estádios  $V_6$  e  $R_3$  da escala fenológica proposta por Ritchie et al. (1993), foram realizadas amostragens da parte aérea das plantas, coletando-se, rente ao solo, as plantas de 2 m de linha em cada parcela. Após o corte, as plantas foram imediatamente pesadas para determinação da massa fresca e, posteriormente, os dados foram usados para a estimativa produção de massa seca da parte aérea. A umidade das plantas em cada época de amostragem foi determinada.

Tomou-se o cuidado de amostrar plantas que não tinham sido influenciadas por coletas anteriores. No total foram realizadas 12 amostragens no ano de 2009 e 10 amostragens em 2010.

Dentre as plantas coletadas em cada época de coleta, cinco foram levadas para o laboratório, onde foram trituradas. Deste material fragmentado retirou-se uma sub-amostra de, aproximadamente, 700 g. Estas sub-amostras foram secas em estufa a  $65^\circ\text{C}$ , moídas, preparadas e analisadas para determinação da concentração de N conforme método descrito por Bataglia et al. (1983).

Para a determinação da curva crítica de diluição de N, o primeiro passo foi submeter os dados de MS e concentração de N na parte aérea de cada amostragem à análise de variância de acordo com o delineamento experimental e ao teste  $t$  ( $\alpha = 0,05$ ) para comparação das médias. Os casos em que a análise estatística identificou diferenças na MS e concentração de N entre os tratamentos foram, então, avaliados para verificar se poderiam ser aproveitados no ajuste da curva crítica de diluição.

Para essa finalidade, as concentrações críticas de N ( $N_{crit}$ ) em cada amostragem foram obtidas de forma semelhante à descrita por Herrmann e Taube (2004). Para cada época em que o teste  $t$  indicou diferença entre os tratamentos ( $P < 0,05$ ), verificou-se se os dados da relação entre a massa seca e a concentração de N da parte aérea ajustavam-se à função linear segmentada. Nos casos em que o ajuste foi possível, houve a separação das observações em duas populações, as quais definiram os dois segmentos do modelo. O primeiro segmento, que neste caso representa as situações de insuficiência de N, é definido por regressão linear e o segundo, que corresponde às situações de suficiência de N, por cálculo da média (ALVAREZ V., 1994). Para definição dos pontos que compõem cada segmento, usou-se o critério de maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para os dois segmentos em conjunto. A  $N_{crit}$  correspondeu à intersecção das duas retas.

Após o cálculo das  $N_{crit}$ , a curva crítica de diluição de N foi obtida relacionando-as a seus respectivos valores de massa seca da parte aérea e, então, ajustando os pontos obtidos à função potência  $N_{crit} = a MS^{-b}$ , proposta por Lemaire e Gastal (1997), onde,  $N_{crit}$  é a concentração crítica de nitrogênio na parte aérea das plantas, MS é a produção de massa seca da parte aérea em  $Mg ha^{-1}$  e  $a$  e  $b$  são os parâmetros de ajuste da curva. O parâmetro  $a$  corresponde à concentração de N quando a produção de MS é igual a  $1,0 Mg ha^{-1}$  e o parâmetro  $b$  indica a intensidade de diluição do N com o aumento da MS.

Uma vez determinada, a curva crítica de N foi submetida à validação, utilizando os dados das amostragens que não foram empregados na determinação da curva. A comparação das médias pelo teste  $t$  ( $\alpha = 0,05$ ) foi utilizada para separar os tratamentos em limitantes em N e não limitantes em N. O tratamento com dose de N limitante foi definido como o tratamento para o qual um suprimento de N proporcionou aumento significativo da massa seca. Os tratamentos com dose de N não limitante foram os tratamentos para os quais o suprimento de N não proporcionou aumento significativo da massa seca.

A validação da curva crítica de N consistiu em avaliar o quanto ela foi capaz de distinguir situações em que plantas estavam ou não com deficiência de N. No caso de tratamento com dose limitante de N, a concentração de N na planta para uma dada massa seca deveria ficar abaixo da curva, cujo diagnóstico é o de

deficiência de N. No caso de tratamento com dose de N não limitante, a concentração de N na planta para uma dada massa seca deveria ficar sobre a curva ou acima dela, cujo diagnóstico é o de suficiência de N.

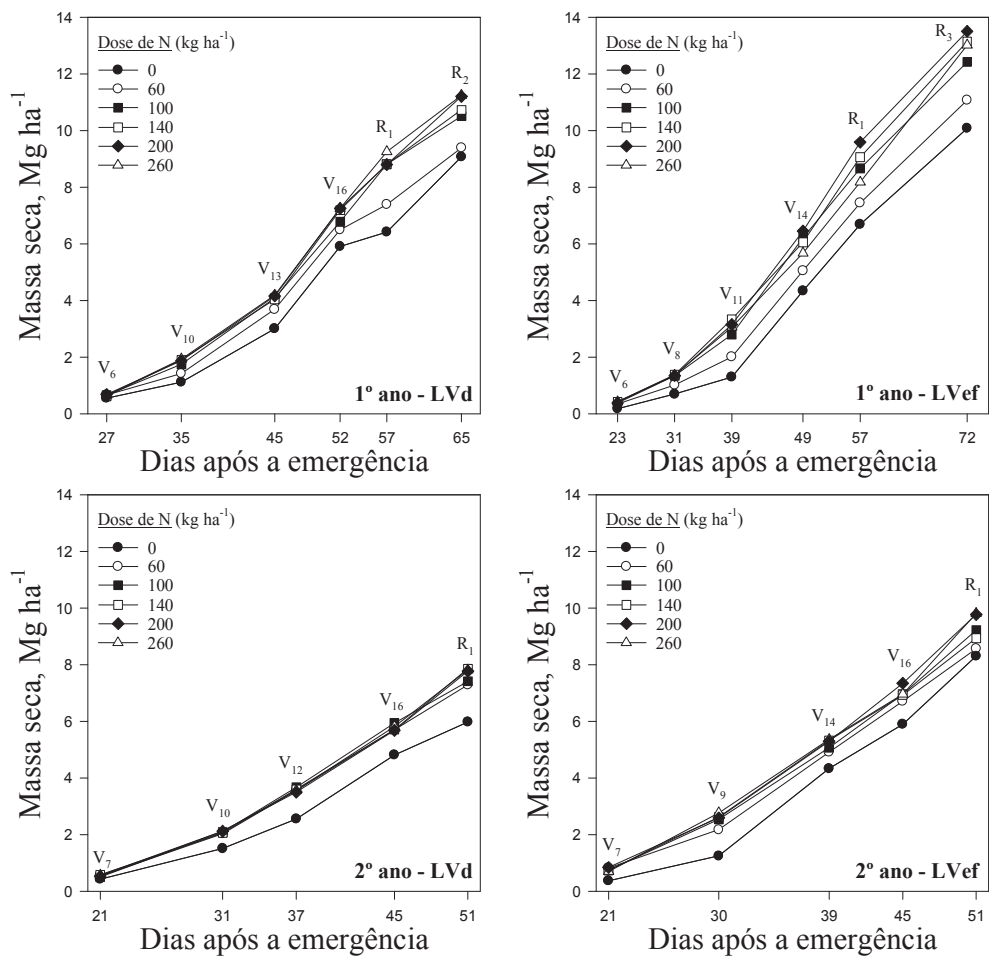
O índice de nutrição nitrogenada (INN) foi obtido pela razão entre a  $N_{crit}$  e a concentração de N observada na parte aérea das plantas para uma dada MS. Valores de INN maiores ou igual a 1,0 indicam uma situação de nutrição adequada, enquanto valores menores correspondem a situações de deficiência de N.

## Resultados e discussão

A produção de massa seca da parte aérea (MS) durante o período avaliado variou de 0,18 a 13,51 Mg ha<sup>-1</sup>, dependendo da dose de N aplicada, época de amostragem, local e ano (Figura 1). A concentração de N na parte aérea das plantas diminuiu com o tempo, independentemente da dose de N (Figura 2). As concentrações de N variaram de 11,7 a 38,6 g kg<sup>-1</sup>.

Avaliando as concentrações de N em plantas de milho submetidas a várias doses de N, Plénet e Lemaire (2000) verificaram uma variação de 7,0 a 34,0 g kg<sup>-1</sup> de N e Ziadi et al. (2008a) de 6,1 a 38,7 g kg<sup>-1</sup> de N. Os menores valores obtidos por estes autores referem-se às amostragens no início do crescimento da espiga, período que, segundo eles, ocorre uma intensa divisão e expansão celular, o que intensifica a diluição do nutriente nas plantas.

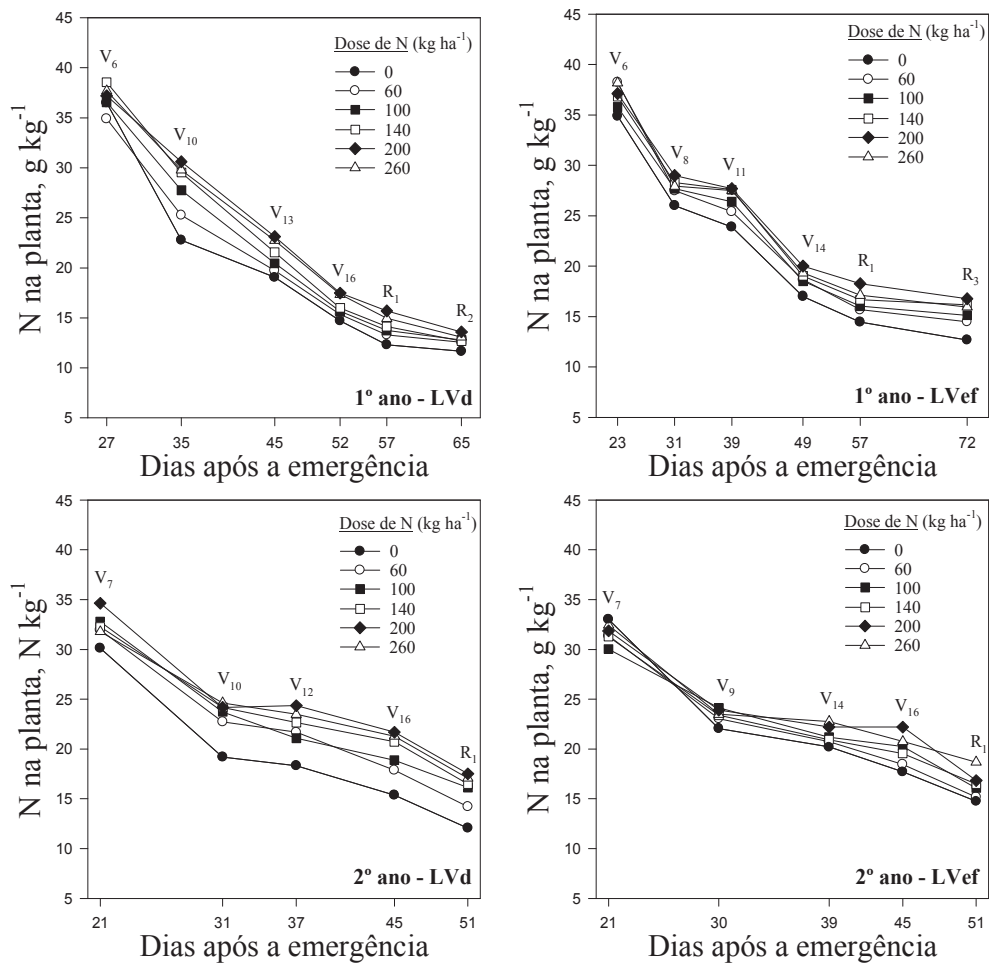
A redução da concentração de N com avanço da idade das plantas de milho foi demonstrada por vários autores (PLÉNET; LEMAIRE, 2000; HERRMANN; TAUBE, 2004; LI et al., 2012). Isto tem sido interpretado muitas vezes, de modo simplista, como o resultado do envelhecimento das plantas e, frequentemente, tem sido relacionado com o tempo. Esta relação não é ideal, pois pode gerar grandes diferenças entre resultados de uma mesma espécie ou cultivar que foram submetidos a diferentes condições de cultivo (LEMAIRE; GASTAL, 1997; PLÉNET; LEMAIRE, 2000).



**Figura 1.** Produção de massa seca da parte aérea nas épocas de amostragem (em dias após a emergência e estádios fenológicos) para cada dose de N, em plantas de milho cultivadas em dois solos (LVd e LVef) e por dois anos consecutivos.

No intuito de minimizar estas diferenças, Lemaire e Gastal (1997) sugerem que a concentração de N na parte aérea das plantas seja relacionada com a produção de MS.

Na Figura 3A, considerando todos os dados dos experimentos, relacionou-se a concentração e o acúmulo de N na parte aérea com a MS do milho. Nota-se que a concentração de N na parte aérea diminuiu à medida que as plantas cresceram e que a função potência proposta por Lemaire e Gastal (1997) foi adequada para explicar as variações.



**Figura 2.** Concentração de N na parte aérea nas épocas de amostragem (em dias após a emergência e estádios fenológicos), para cada dose de N, em plantas de milho cultivadas em dois solos (LVd e LVef) e por dois anos consecutivos.

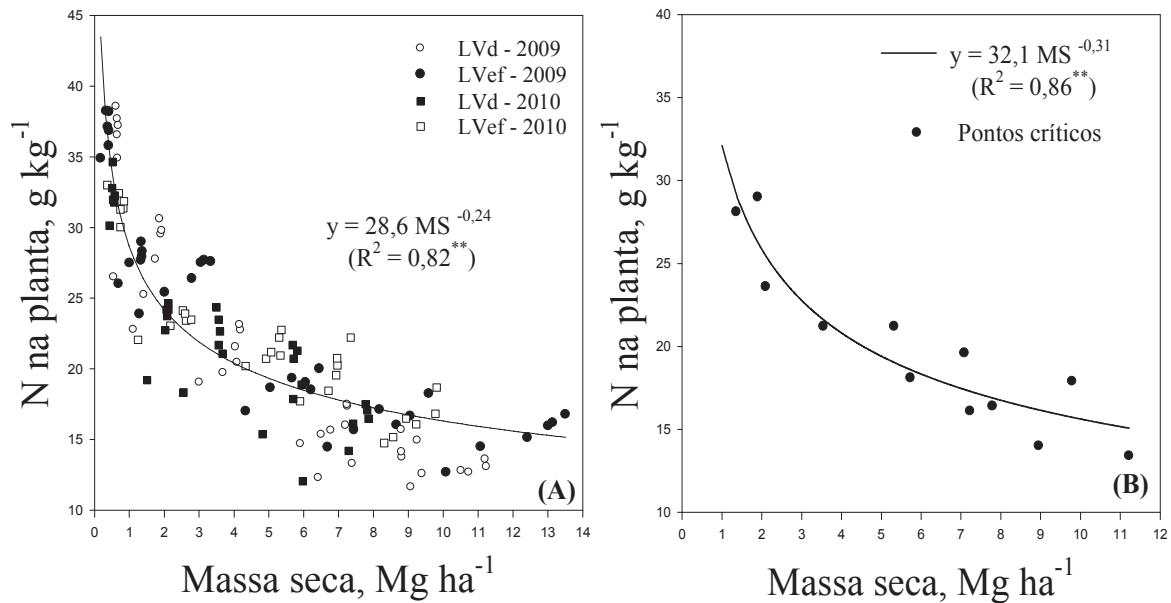
A redução da concentração de N na planta ocorre devido ao auto-sombreamento das folhas (JUSTES et al., 1994) e à mudança na relação folha/colmo (LEMAIRE; GASTAL, 1997). A diluição devido ao auto-sombreamento ocorre porque as folhas inferiores vão sendo sombreadas pelas superiores, com consequente remobilização do N das folhas sombreadas para as folhas iluminadas, para manter altas taxas fotossintéticas (HIROSE; WERGER, 1987). Porém, a maior contribuição no processo de diluição do N é dada pela redução dos valores da relação folha/colmo, ou seja, conforme a planta cresce, a massa de colmo aumenta

em relação à massa de folha. Como o colmo apresenta menor concentração de N, verifica-se diluição de N na planta (GASTAL; LEMAIRE, 2002).

Quando observaram-se valores de MS superior a  $1,0 \text{ Mg ha}^{-1}$  (10 épocas em 2009 e 8 em 2010) procurou-se determinar a Ncrit na parte aérea das plantas de milho por meio da função linear segmentada. Em 12 épocas os dados se ajustaram ao modelo linear segmentado. Nas demais épocas não foi possível o ajuste dos dados. Oito valores de Ncrit foram obtidos na fase de crescimento vegetativo e quatro na fase de florescimento e pós-florescimento.

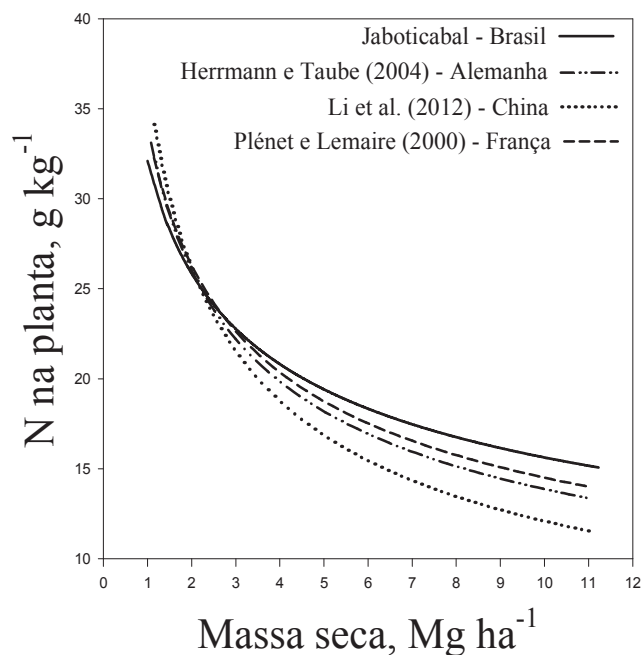
A Figura 3B mostra o resultado do ajuste da função potência ( $N_{crit} = aMS^{-b}$ ) aos valores de Ncrit. O valor do parâmetro  $a$ , que indica a concentração de N na parte aérea quando a MS é igual a  $1,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ , foi de 32,1. Este valor é, aproximadamente, 6% inferior aos obtidos para a cultura do milho por Plénet e Lemaire (2000) no sudoeste da França e Herrmann e Taube (2004) no norte da Alemanha, que foram, respectivamente, 34,0 e 34,1. Para o milho cultivado no nordeste da China o valor de 36,5 foi obtido por Li et al. (2012). Quanto ao parâmetro  $b$ , que corresponde à intensidade de diluição do N à medida que as plantas crescem, Plénet e Lemaire (2000), Herrmann e Taube (2004) e Li et al. (2012) obtiveram -0,37, -0,39 e -0,48, respectivamente.

Sheehy et al. (1998) relatam que, para a cultura do arroz, a curva crítica de diluição de N parece ser independente da zona climática e que a semelhança entre as curvas obtidas em ambientes de clima temperado e tropical indicam que não existem diferenças significativas na proporção carbono-nitrogênio para uma mesma quantidade de MS das plantas nestes ambientes, embora haja diferença na MS final. O mesmo não pôde ser observado para o milho, pois, embora as curvas obtidas na França (PLÉNET; LEMAIRE, 2000) e Alemanha (HERRMANN; TAUBE, 2004) se assemelhem, a diluição de N nas plantas de milho cultivadas na China (LI et al., 2012), aparentemente, ocorre como maior intensidade, sobretudo após  $2,5 \text{ Mg ha}^{-1}$  de MS (Figura 4).



**Figura 3.** Relação entre a concentração de N e produção de massa seca da parte aérea de plantas de milho cultivadas em dois solos por dois anos (A) e entre produção de massa seca e concentração crítica de N ( $N_{crit}$ ) na parte aérea de plantas de milho para o intervalo de 1,36 a 11,22  $Mg\ ha^{-1}$  de MS (B).

Isto pode estar relacionado aos diferentes cultivares, manejos e solos de cada experimento. No entanto, provavelmente, as diferenças climáticas entre os locais contribuem significativamente para estes resultados. Todos os trabalhos citados consideraram para a determinação da curva crítica de diluição, dados oriundos da zona temperada norte, ou seja, entre o trópico de câncer e o círculo polar ártico, com latitudes variando de 43°34' N a 53°55' N. No entanto, Plénet e Lemaire (2000) e Herrmann e Taube (2004) trabalharam, segundo classificação de Köppen atualizada por Kottek et al. (2006), em regiões de clima oceânico [Cfc – clima temperado húmido com verão curto e fresco] e Li et al. (2012) em regiões de clima continental [Dwa – clima temperado frio com inverno seco e verão quente]. Dentre os trabalhos mencionados, os parâmetros das curvas que mais se assemelham são os reportados por Plénet e Lemaire (2000) e Herrmann e Taube (2004), pois foram obtidos com dados de experimentos realizados em regiões mais próximas entre si e com semelhantes condições climáticas.



**Figura 4.** Curvas críticas de diluição do N para a cultura do milho obtidas neste experimento [ $N_{crit} = 32,1 \text{ MS}^{-0,31}$ ], por Plénet e Lemaire (2000) [ $N_{crit} = 34,0 \text{ MS}^{-0,37}$ ], Herrmann e Taube (2004) [ $N_{crit} = 34,1 \text{ MS}^{-0,39}$ ] e Li et al. (2012) [ $N_{crit} = 36,5 \text{ MS}^{-0,48}$ ].

Já, o presente trabalho foi conduzido em região de clima tropical [Aw – clima tropical com estação seca de inverno] (Kottek et al., 2006), entre as latitudes 21°13' S e 21°14' S. Pela Figura 4, é possível observar que existe semelhança entre as curvas de Plénet e Lemaire (2000), de Herrmann e Taube (2004) e a obtida no presente trabalho. Contudo, a partir de 2,5 Mg ha<sup>-1</sup> de MS, os valores de  $N_{crit}$  no presente trabalho ficaram acima das verificadas por estes autores e também por Li et al. (2012). Considerando as características climáticas de cada local, pode-se supor que, nas condições deste trabalho (se  $MS > 2,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), a diluição do N nas plantas ocorre mais lentamente. Assim, para alcançar o mesmo valor de MS as plantas necessitam de concentrações de N superiores às encontradas nas plantas cultivadas em regiões de clima temperado. No entanto, novos estudos abrangendo diferentes condições de manejo, edáficas e cultivares são necessários para subsidiar essa hipótese.

Embora um método de diagnóstico nutricional seja mais útil quanto mais cedo ele possa diferenciar condições de suficiência e deficiência de um nutriente, os



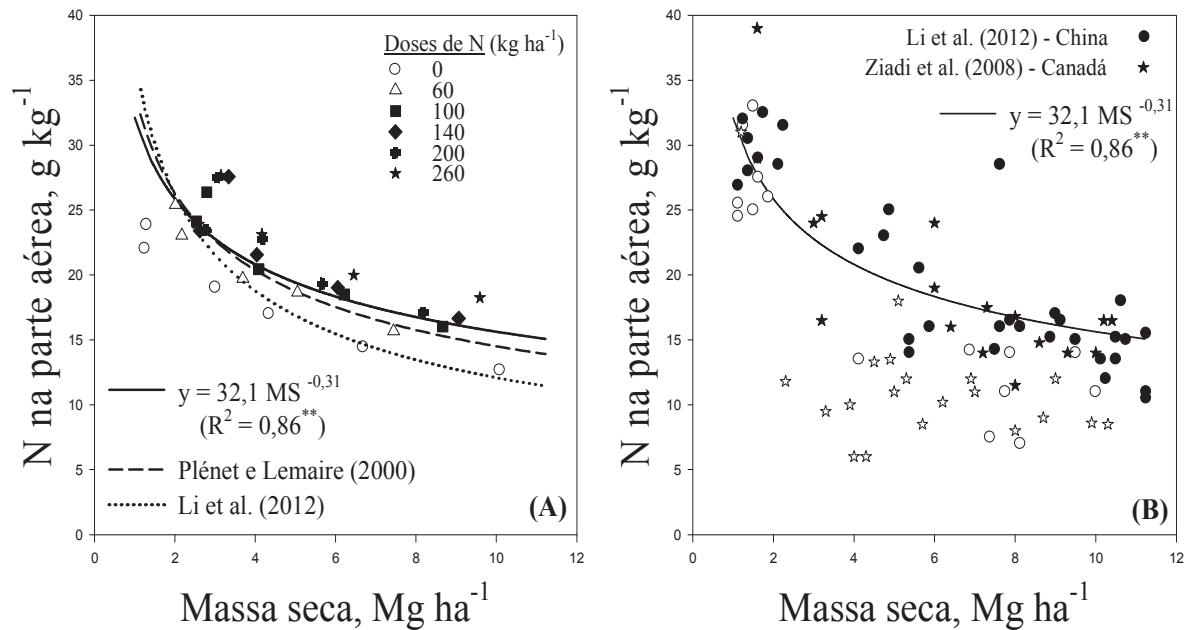
dados referentes às primeiras amostragens (estádio V<sub>6</sub> à V<sub>7</sub>), ou seja, aqueles em que a MS foi menor que 1,0 Mg ha<sup>-1</sup>, não foram utilizados para determinação da curva crítica de diluição. Essa decisão foi tomada, pois, não obstante tenha-se notado uma menor MS nas plantas que não receberam N, nos estádios iniciais de desenvolvimento, a concentração de N na parte aérea não variou significativamente, impossibilitando a determinação dos valores de N<sub>crit</sub>. Plénet e Lemaire (2000) também concluíram que quando os valores de MS eram menores que 1,0 Mg ha<sup>-1</sup> não foram adequados para a determinação da curva crítica de N em milho.

A princípio pode-se acreditar que as plantas que receberam N não tiveram tempo para expressar as variações em função dos tratamentos (doses de N), uma vez que receberam a mesma dose de N na semeadura (20 kg ha<sup>-1</sup> de N) e as primeiras amostragens foram muito próximas do momento da adubação de cobertura. No entanto, independentemente do momento de aplicação dos tratamentos, há que se considerar que plantas em estádios iniciais de crescimento sofrem menos estresses, pois a competição por luz, água e nutrientes é significativamente menor. Nessas condições, assim como em plantas isoladas, a concentração de N na parte aérea diminui com menor intensidade comparada aos estádios de desenvolvimento mais tardios (LEMAIRE; GASTAL, 1997).

Plénet e Lemaire (2000) relatam que plantas de milho em estádios fenológicos iniciais possuem concentração constante de N, em torno de 34 g kg<sup>-1</sup>. No entanto, Herrmann e Taube (2004) verificaram, nas plantas com seis a sete folhas completamente desenroladas, maior concentração (38,5 g kg<sup>-1</sup>). No presente trabalho observou-se, quando os valores de MS não ultrapassaram 1,0 Mg ha<sup>-1</sup>, valores de 26,5 g kg<sup>-1</sup> de N em plantas com MS de 0,55 Mg ha<sup>-1</sup> e de 38,2 g kg<sup>-1</sup> em plantas com MS de 0,34 Mg ha<sup>-1</sup>. A concentração média nos períodos iniciais de desenvolvimento foi igual à descrita por Plénet e Lemaire (2000), ou seja, 34 g kg<sup>-1</sup> de N.

A validade da curva de diluição de N obtida neste trabalho foi testada utilizando-se os dados das amostragens que não foram utilizados para a determinação da curva crítica. Verifica-se, pela Figura 5A, que a curva crítica de diluição do N, representada pela equação  $N_{crit} = 32,1 MS^{-0,31}$ , foi adequada para diferenciar situações de deficiência (11 pontos) e suficiência (20 pontos) de N. Todos

os pontos referentes às situações de deficiência de N ficaram abaixo da curva e apenas dois pontos referentes às situações de suficiência de N não ficaram acima, porém, situaram-se muito próximos à curva. Isso corresponde a uma eficiência de, aproximadamente, 94%.



**Figura 5.** Validação da curva crítica de diluição de N obtida neste trabalho e das obtidas por Plénet e Lemaire (2000) [ $N_{crit} = 34,0 MS^{-0,37}$ ] e Li et al. (2012) [ $N_{crit} = 36,5 MS^{-0,48}$ ] (A) e eficiência da curva crítica de diluição de N determinada neste trabalho para o milho cultivado na China e no Canadá (B). Símbolos vazios correspondem às situações limitantes ao crescimento das plantas e cheios às não limitantes.

A curva crítica determinada na França para a cultura do milho por Plénet e Lemaire (2000) tem sido considerada adequada para uma gama muito grande de condições de cultivo e foi validada em alguns países, como Alemanha (HERRMANN; TAUBE, 2004) e Canadá (ZIADI et al., 2008a). Esta curva também foi adequada para a diagnose nutricional nitrogenada das plantas de milho no presente trabalho, como pode ser visto na Figura 5A. O mesmo, no entanto, não foi observado para a curva determinada por Li et al. (2012).

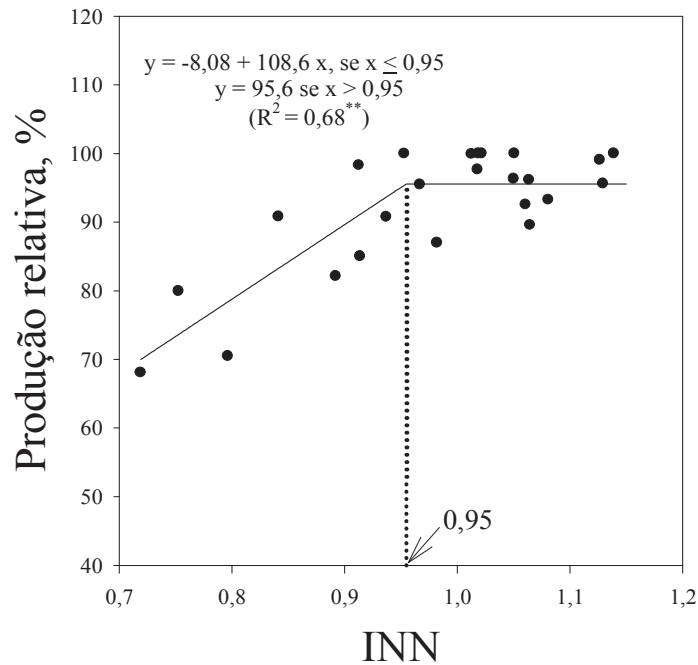
Para verificar se a curva determinada no presente trabalho pode ser utilizada em condições edafoclimáticas diferentes daquelas da região onde foi determinada, foram utilizados os dados publicados por Ziadi et al. (2008a), obtidos no Canadá, e Li et al. (2012), oriundos da China. Observa-se na Figura 5B que a curva do presente trabalho teve eficiência de apenas 60% para os experimentos da China, pois, de um total de 15 pontos referentes às situações de deficiência de N, em duas situações os pontos encontravam-se acima da curva e, dos 33 pontos referentes às situações de suficiência de N, 17 ficaram abaixo da curva. Quando utilizados os dados oriundos do Canadá, a curva crítica teve eficiência de 78%. De modo geral, a curva foi eficiente para os casos em que o N foi fornecido em quantidades insuficientes, mas falhou para as situações de suficiência de N, principalmente para as maiores produções de biomassa.

Os resultados apresentados permitem inferir que a curva crítica de diluição de N foi eficiente para o diagnóstico da nutrição nitrogenada na cultura do milho, como verificado também por Plénet e Lemaire (2000), Herrmann e Taube (2004), Ziadi et al. (2008a) e Li et al. (2012). Contudo, em contraste com afirmações de Sheehy et al. (1998), Hermann e Taube (2004) e Ziadi et al. (2008a), o uso de apenas uma curva crítica de diluição para o diagnóstico nutricional do milho, cultivado em diversas condições edafoclimáticas, não parece adequada. Considerações semelhantes foram feitas por Li et al. (2012).

No Brasil, o milho normalmente é produzido para a produção de grãos ou silagem. Em ambos os casos, o rendimento de grãos é importante, pois a quantidade de grãos influencia a qualidade da silagem. Assim, é interessante que um método de diagnóstico nutricional para esta cultura tenha relação com a produção de grãos e não só com a produção de massa seca da parte aérea. Para este fim, o índice de nutrição nitrogenada (INN), calculado por meio da curva crítica de diluição do N, tem sido utilizado.

Na Figura 6 pode-se observar que existe relação entre o INN e a produção relativa de grãos de milho. Na mesma figura pode-se verificar que a produção de grãos tende a se estabilizar quando os valores de INN são superiores a 0,95. Ziadi et al. (2008a) e Ziadi et al. (2008b) também verificaram que a produção de grãos não

aumentou significativamente quando o INN foi maior que 0,93 e 0,88, respectivamente.



**Figura 6.** Relação entre a produção relativa de grãos e o índice de nutrição nitrogenada (INN) do milho em experimentos conduzidos em dois solos (LVd e LVef) por dois anos consecutivos (2009 e 2010). Dados de INN referem-se à média de todas as amostragens de plantas.

Neste trabalho os valores de INN variaram de 0,7 a 1,3. Ziadi et al. (2008a) observaram variação semelhante (0,3 a 1,3). No entanto, Plénet e Lemaire (2000) obtiveram maiores valores (1,7). Estes resultados confirmam a capacidade das plantas de milho absorverem e acumularem mais N do que o requerido para o máximo crescimento (“consumo de luxo”).

## Conclusões

A curva crítica de diluição do N para a cultura do milho foi determinada e é descrita pela equação  $N_{crit} = 32,1 MS^{-0,31}$ . Esta curva é válida para amostragens realizadas no intervalo de 1,36 a 11,22 Mg ha<sup>-1</sup> de MS.

A curva crítica de diluição do N possibilitou o diagnóstico da nutrição nitrogenada para a cultura do milho e apresentou eficiência de, aproximadamente, 94%.

## Referências

ALVAREZ V., V.H. **Avaliação da fertilidade do solo (superfícies de resposta – modelos aproximativos para expressar a relação fator-resposta)**. Viçosa: UFV/Imprensa Universitária, 1994, 75p.

BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78)

BULLOCK, D.G.; ANDERSON, D.S. Evaluation of the Minolta SPAD-502 chlorophyll meter for nitrogen management in corn. **Journal of Plant Nutrition**. v.21, p.741–755., 1998.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

GASTAL, F.; LEMAIRE, G. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. **Journal of Experimental Botany**, v.53, p.789-799, 2002.

HERRMANN, A.; TAUBE, F. The range of the critical nitrogen dilution curve for maize (*Zea mays* L.) can be extended until silage maturity. **Agronomy Journal**, v.96, 1131-1138, 2004.

HIROSE, T.; WERGER, M.J.A. Maximizing daily canopy photosynthesis with respect to the leaf nitrogen allocation pattern in the canopy. **Oecologia**, v.52, p.520–526, 1987.

JUSTES, E.; MARY, B.; MEYNARD, J.-M.; MACHET, J.-M.; THELIER-HUCHES, L. Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter wheat crops. **Annals of Botany**, v.74, p.397–407, 1994.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v.15, p.259-263, 2006.

LEMAIRE, G.; GASTAL, F. N uptake and distribution in plant canopies. In: LEMAIRES, G. (Ed.). **Diagnosis of the nitrogen status in crops**. Heidelberg: Springer-Verlag, 1997. p.3–43.

LI W.; HE, P.; JIN, J. Critical nitrogen curve and nitrogen nutrition index for spring maize in north-east China. **Journal of Plant Nutrition**, v.35, p.1747-1761, 2012.

PLÉNET, D.; LEMAIRES, G. Relationships between dynamics of nitrogen uptake and dry matter accumulation in maize crops. Determination of critical N concentration. **Plant and Soil**, v.216, p.65–82, 2000.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 284p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. Milho para grãos e silagem. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. rev. e atual. Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1997. p.263-273. (Boletim Técnico, 100)

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; BENSON, G.O. **How a corn plant develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1993. 26p. (Special Report, 48).

SHEEHY, J.E.; DIANORA, M.J.A.; MITCHELL, P.L.; PENG, S.; CASSMAN, K.G.; LEMAIRE, G.; WILLIAMS, R.L. Critical nitrogen concentrations: implications for high-yielding rice (*Oryza sativa* L.) cultivars in the tropics. **Field Crops Research**, v.59, p.31–41, 1998.

ZIADI, N.; BRASSARD, M.; BÉLANGER, G.; CAMBOURIS, A.N.; TREMBLAY, N.; NOLIN, M.C.; CLAESSENS, A.; PARENT, L. Critical nitrogen curve and nitrogen nutrition index for corn in Eastern Canada. **Agronomy Journal**, v.100, p.271-276, 2008a.

ZIADI, N.; BRASSARD, M.; BÉLANGER, G.; CLAESSENS, A.; TREMBLAY, N.; CAMBOURIS, A.N.; NOLIN, M.C.; PARENT, L. Chlorophyll measurements and nitrogen nutrition index for the evaluation of corn nitrogen status. **Agronomy Journal**, v.100, p.1264-1273, 2008b.