

Densidade de raízes de milho em função de estratégias de aplicação de N e de plantas de entressafra ⁽¹⁾

André Mendes Coutinho Neto⁽²⁾; Edimar Rodrigues Soares⁽³⁾; Márcio Silveira da Silva⁽⁴⁾; Fernanda Ribeiro Peixoto⁽⁵⁾; José Eduardo Corá⁽⁶⁾; Edson Luiz Mendes Coutinho⁽⁷⁾.

⁽¹⁾ Trabalho financiado pela Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo.

⁽²⁾ Doutorando em Agronomia (Ciência do Solo); ex-bolsista do CNPq; Universidade Estadual Paulista - UNESP; Campus de Jaboticabal, SP; E-mail: andremcoutinho82@hotmail.com.

⁽³⁾ Mestrando em Agronomia (Ciência do Solo); UNESP. E-mail: soares-agro@hotmail.com.

⁽⁴⁾ Mestrando em Agronomia (Produção Vegetal); UNESP. E-mail: marciode@hotmail.com.

⁽⁵⁾ Graduanda em Agronomia; UNESP; E-mail: fernandarpeixoto@gmail.com.

⁽⁶⁾ Professor do departamento de Solos e Adubos; UNESP; E-mail: cora@fcav.unesp.br.

⁽⁷⁾ Professor do departamento de Solos e Adubos; UNESP; E-mail: coutinho@fcav.unesp.br.

RESUMO: O nitrogênio tem importante papel no metabolismo das plantas, podendo, entre outros aspectos contribuir para o desenvolvimento do sistema radicular, melhorando o aproveitamento de água e nutrientes pela planta. Os objetivos do experimento foram avaliar a influência de diferentes estratégias de aplicação do nitrogênio, no desenvolvimento radicular, concentração e acumulação de nitrogênio em raízes de milho cultivado em sucessão à soja ou milho (plantas de entressafra). O trabalho foi conduzido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Produção da UNESP - Campus de Jaboticabal – SP, em área de plantio direto desde 1990. Os tratamentos referentes às estratégias de aplicação de N foram estabelecidos para a cultura de verão (milho) em 10/2003, sendo o nitrogênio na dose total de 150 kg ha⁻¹ de N, na forma de uréia, aplicado a lanço, superficialmente em área total. O delineamento experimental utilizado foi em parcelas subdivididas com cinco tratamentos principais (estratégias de aplicação de N na cultura do milho (0-0-0; 20-80-50; 50-80-20; 150-0-0 e 0-80-70; respectivamente: semeadura-V4-V8)), dois tratamentos secundários (culturas de entressafra: milho e a soja) e seis repetições dispostas em blocos casualizados. As maiores quantidades de raiz encontravam-se nas camadas superficiais, até a profundidade de 0,20 m. A adubação nitrogenada proporcionou aumentos na densidade de matéria seca de raiz (DMSR) e na concentração e acúmulo de N nas raízes. Houve aumento no acúmulo de N quando o milho foi cultivado após a leguminosa. A aplicação de N em pré-semeadura ou parcelado não influenciou significativamente a DMSR.

Termos de indexação: *Zea mays* L., plantio direto, parcelamento de N; N em pré-semeadura

INTRODUÇÃO

Devido as funções importantes exercidas pelo N na planta, deve-se considerar sua possível influência no desenvolvimento do sistema radicular.

Dependendo da espécie e do estágio de desenvolvimento da planta, em média 25 a 50% dos fotossintatos produzidos na parte aérea são transportados para as raízes, para seu crescimento, manutenção e outras funções, como por exemplo, a absorção iônica (Marschner, 1995). Quando o nitrogênio não é suprido adequadamente, pode ocorrer uma competição entre os dois drenos, representados pela raiz e parte aérea (Hirel et al., 2007), resultando em menor desenvolvimento do sistema radicular, representado por uma menor massa de raiz por área (kg ha⁻¹).

Os objetivos do experimento foram avaliar a influência de diferentes estratégias de aplicação do nitrogênio, no desenvolvimento radicular de milho cultivado em sucessão à soja ou milho (plantas de entressafra). Procurou-se ainda, avaliar a concentração e a quantidade de N acumulada nas raízes de milho (camada de 0 - 0,40 m).

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Produção da UNESP - Campus de Jaboticabal – SP, localizada a 21° 14' 05" sul, na longitude de 48° 17' 09" oeste, a uma altitude de 613 m, com clima, segundo classificação de Köppen, Aw (clima megatérmico). O solo do local foi classificado, utilizando-se os critérios de Embrapa (2006), como Latossolo Vermelho eutroférrico argiloso.

A área apresenta um histórico de plantio direto desde 1990, sendo utilizado o milho como cultura de verão, semeado normalmente na segunda quinzena de novembro de cada ano. Até 1998 as plantas de cobertura foram as de vegetação espontânea. A partir desse ano, empregaram-se como plantas de

entressafra o milho e a soja (a semeadura e a colheita dessas culturas foram realizadas, respectivamente, em abril/maio e agosto/setembro de cada ano), ambas sob irrigação suplementar por aspersão. Após as colheitas os restos culturais foram triturados com o equipamento triton, para distribuir e uniformizar a cobertura vegetal sobre o solo.

Tratamentos e amostragens

Os tratamentos referentes às estratégias de aplicação de N foram estabelecidos para a cultura de verão (milho) em 10/2003, sendo o nitrogênio na dose total de 150 kg ha⁻¹ de N, na forma de uréia, aplicado a lanço, superficialmente em área total. O delineamento experimental utilizado foi em parcelas subdivididas com cinco tratamentos principais (estratégias de aplicação de N na cultura do milho cultivada na primavera/verão (**Tabela 1**), dois tratamentos secundários (culturas de entressafra: milho e a soja) e seis repetições dispostas em blocos casualizados.

As parcelas apresentavam uma área total de 86,4 m² (14,4 x 6,0 m) e estavam separadas por carreadores de 1,0 m; as subparcelas eram constituídas de uma área total de 43,2 m² (7,2 x 6,0 m), sendo utilizada para avaliações a área útil de 27 m² (seis linhas de milho espaçadas de 0,90 m, com comprimento de 5,0 m).

A aplicação em pré-semeadura da uréia (a lanço, superficialmente em área total) foi realizada no início do mês de novembro de 2008. A semeadura do milho (cultura de primavera/verão) foi realizada dez dias após a aplicação do nitrogênio. As aplicações de N em cobertura foram realizadas quando as plantas apresentavam quatro e oito folhas completamente desenroladas (estádio V4 e V8, respectivamente).

Todos os tratamentos receberam uma adubação básica com 40 kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de cloreto de potássio, aplicado em pré-semeadura, juntamente com a uréia, a lanço, em área total. Todos os tratamentos receberam também, uma adubação fosfatada constante, aplicando-se no sulco de semeadura 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato simples).

No estágio de maturação fisiológica dos grãos (aparecimento da camada preta), as raízes foram coletadas 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 em dois locais, em

relação às plantas: na linha de semeadura e na entrelinha de semeadura, a uma distância de 0,25 a 0,30 m das plantas. As raízes foram separadas do solo pela dispersão em água através das 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). As amostras de raízes foram posteriormente lavadas, obedecendo a seguinte sequência de operações: solução diluída de detergente; água corrente; solução de HCl 0,1 mol L⁻¹; água corrente; água destilada) e secadas em estufa a 65-70 °C, determinando-se a massa de material seco. A cada profundidade, foi obtida a soma da massa seca de raízes contidas na linha e na entrelinha de semeadura, sendo os resultados expressos em massa seca de raiz por volume amostrado (densidade de massa seca de raiz - DMSR).

Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância, aplicando-se o teste F. Quando havia significância estatística ao nível de 5% ou 1% de probabilidade efetuou-se a comparação das médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Para a análise estatística das raízes, os dados foram transformados em log (x+5).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com as avaliações realizadas, as maiores quantidades de raiz encontravam-se nas camadas superficiais, até a profundidade de 0,20 m (**Tabela 2**). Venzke Filho et al. (2004) relataram que 36% das raízes de milho estavam concentradas na camada de solo de 0-0,10 m. Os autores destacaram que aproximadamente 30% das raízes finas (< 0,0012 m) estavam nessa camada, sendo que as estas são importantes por proporcionarem um contato maior com a matriz do solo.

Verifica-se ainda que, em todas as profundidades, que a DMSR não foi influenciada significativamente pelas culturas antecessoras (**Tabela 2**), diferentemente do observado por Sainju et al. (2001), que verificaram um maior desenvolvimento das raízes quando a cultura anterior foi a leguminosa.

Por sua vez, em relação ao tratamento em que se omitiu o N, o fornecimento desse nutriente aumentou significativamente a DMSR até a profundidade de 0,20 m, corroborando resultados de Costa et al. (2002). O incremento na DMSR, apenas nas camadas superiores do solo, deve-se provavelmente, à aplicação do fertilizante nitrogenado ter sido realizada a lanço na superfície

do solo (Hoad et al., 2001). Costa et al. (2002), também verificaram a influência positiva da adição de N, incrementando a superfície e o comprimento da raiz. De acordo com Fageria & Moreira (2011), a DMSR é uma variável importante, estando a mesma significativamente relacionada à produção de grãos.

Quando esse nutriente não é suprido adequadamente, como no tratamento sem N, pode ocorrer uma competição entre os dois drenos, representados pela raiz e parte aérea (Hirel et al., 2007), resultando em menor desenvolvimento do sistema radicular, representado por uma menor massa de raiz por área (kg ha^{-1}), como verificado na **tabela 2**. A época de aplicação do N pode também influenciar o crescimento das raízes (Fageria & Moreira, 2011). No trabalho destes autores, uma menor massa seca de raízes foi obtida quando a dose total de N foi aplicada na semeadura. Esse efeito, entretanto, não foi observado no presente experimento, não existindo diferenças significativas entre o parcelamento ou a aplicação total de N na semeadura (**Tabela 2**).

Para a concentração de N nas plantas houve interferência significativa das culturas antecessoras, sendo que as maiores concentrações foram observadas nas raízes onde a cultura anterior foi a soja (**Tabela 3**). Já para a quantidade acumulada de N nas raízes não se constatou diferença significativa. Em relação às estratégias de aplicação de N, como ocorreu na camada de 0 - 0,2 m para a DMSR, não houve diferença significativa entre as mesmas, quanto a concentração e o acúmulo de N nas raízes (**Tabela 3**). Apenas houve efeito significativo na concentração e acúmulo de N nas raízes em relação à ausência do N na adubação. A aplicação de N em pré-semeadura ou parcelado não influenciou significativamente a DMSR.

CONCLUSÕES

A adubação nitrogenada proporcionou aumentos na DMSR na camada de 0 - 0,20 m; na massa seca de raízes na camada de 0 - 0,40 m, na concentração e acúmulo de N nas raízes.

Houve aumento no acúmulo de N quando o milho foi cultivado após a leguminosa.

A aplicação de N em pré-semeadura ou parcelado não influenciou significativamente a DMSR.

AGRADECIMENTOS

A coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

CAIRES, E..F.; GARBUIO, F.J.; CHURKA, S.; et al. Effects of soil acidity amelioration by surface liming on no-till corn, soybean, and wheat root growth and yield. *European Journal of Agronomy*, 28:57-64, 2008.

COSTA, C.; DWYER, L.M.; ZHOU, X.; et al. Root morphology of contrasting maize genotypes. *Agronomy Journal*, 94:96-101, 2002.

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

FAGERIA, N.K.; MOREIRA, A. The role of mineral nutrition on root growth of crop plants. *Advances in Agronomy*, 110:251-331, 2011.

HIREL, B.; GOUIS, J.L.; NEY, B.; et al. 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*, 58:2369-2387, 2007.

HOAD, S.P.; RUSSEL, G.; LUCAS, M.E.; et al. The management of wheat, barley, and oat root systems. *Advances in Agronomy*, v.74, p.193-246, 2001.

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

SAINJU, U.M.; SINGH, B.P.; WHITEHEAD, W.F. Comparison of the effects of cover crops and nitrogen fertilization on tomato yield, root growth, and soil properties. *Science Horticultural*, 91:201-214, 2001.

VENZKE FILHO, S.P.; FEIGL, B.J.; PICCOLO, M.C.; et al. Root Systems and soil microbial biomass under no-tillage system. *Scientia Agricola*, 61:529-537, 2004.

Tabela 1. Estratégias de aplicação do nitrogênio na cultura do milho (cultura de primavera/verão).

| Causa de variação | Pré-semeadura* | Cobertura | |
|---|----------------|---------------|---------------|
| | | 4 folhas (V4) | 8 folhas (V8) |
| Dose de nitrogênio (kg ha ⁻¹) | | | |
| Testemunha | 0 | 0 | 0 |
| T ₁ | 20 | 80 | 50 |
| T ₂ | 50 | 80 | 20 |
| T ₃ | 150 | 0 | 0 |
| T ₄ | 0 | 80 | 70 |

* da cultura do milho (primavera/verão).

Tabela 2. Densidade de massa seca de raízes de milho em função das estratégias de aplicação do nitrogênio e das plantas de entressafrá.

| Planta de entress.(P) | Estratégia de aplicação do nitrogênio (E), kg ha ⁻¹ | | | | | média |
|---|--|------------------------|----------------------------|-----------|-----------|---------|
| | ¹ (0-0-0) | (20-80-50) | (50-80-20) | (150-0-0) | (0-80-70) | |
| Densidade de massa seca de raízes (0 - 0,10 m), mg cm ⁻³ | | | | | | |
| Milho | 0,429 | 0,905 | 0,944 | 0,879 | 0,905 | 0,812 a |
| Soja | 0,585 | 1,100 | 1,100 | 1,026 | 0,947 | 0,952 a |
| média | 0,507b ⁽²⁾ | 1,003 a | 1,022 a | 0,953 a | 0,926 a | |
| Teste F | E = 4,70** | P = 1,80 ^{NS} | P x E = 0,05 ^{NS} | | | |
| CV (parcela) = 3,27% | CV (subparcela) = 5,14% | | | | | |
| Densidade massa seca de raízes (0,10 - 0,20 m), mg cm ⁻³ | | | | | | |
| Milho | 0,126 | 0,420 | 0,308 | 0,403 | 0,338 | 0,319 a |
| Soja | 0,113 | 0,317 | 0,303 | 0,403 | 0,416 | 0,310 a |
| média | 0,119 b | 0,369 a | 0,306 a | 0,403 a | 0,377 a | |
| Teste F | E = 6,52** | P = 0,01 ^{NS} | P x E = 0,46 ^{NS} | | | |
| CV (parcela) = 2,05% | CV (subparcela) = 2,56% | | | | | |
| Densidade massa seca de raízes (0,20 - 0,30 m), mg cm ⁻³ | | | | | | |
| Milho | 0,056 | 0,117 | 0,152 | 0,095 | 0,113 | 0,107 a |
| Soja | 0,061 | 0,030 | 0,108 | 0,052 | 0,069 | 0,064 a |
| média | 0,058 a | 0,074 a | 0,130 a | 0,074 a | 0,091 a | |
| Teste F | E = 0,31 ^{NS} | P = 0,96 ^{NS} | P x E = 0,29 ^{NS} | | | |
| CV (parcela) = 1,18% | CV (subparcela) = 1,32% | | | | | |
| Densidade massa seca de raízes (0,30 - 0,40 m), mg cm ⁻³ | | | | | | |
| Milho | 0,030 | 0,043 | 0,078 | 0,082 | 0,039 | 0,054 a |
| Soja | 0,030 | 0,000 | 0,035 | 0,000 | 0,056 | 0,093 a |
| média | 0,030 a | 0,022 a | 0,056 a | 0,041 a | 0,048 a | |
| Teste F | E = 0,63 ^{NS} | P = 0,25 ^{NS} | P x E = 2,12 ^{NS} | | | |
| CV (parcela) = 0,52% | CV (subparcela) = 0,52% | | | | | |
| Massa seca de raiz (0 - 0,40 m), kg ha ⁻¹ | | | | | | |
| Milho | 641 | 1.386 | 1.381 | 1.459 | 1.293 | 1.222 a |
| Soja | 788 | 1.346 | 1.347 | 1.481 | 1.342 | 1.261 a |
| média | 714 b | 1.366 a | 1.364 a | 1.470 a | 1.319 a | |
| Teste F | E = 7,98** | P = 0,97 ^{NS} | P x E = 0,69 ^{NS} | | | |
| CV (parcela) = 5,58% | CV (subparcela) = 7,69% | | | | | |

⁽¹⁾ primeiro, segundo e terceiro número correspondem, respectivamente, a dose de N aplicada em pré-semeadura e quando as plantas apresentavam quatro e oito folhas completamente desenroladas. ⁽²⁾ Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 3. Concentração e quantidade de N acumulada nas raízes de milho (camada de 0 - 0,40 m) em função das estratégias de aplicação do nitrogênio e das plantas de entressafrá.

| Planta de entress.(P) | Estratégia de aplicação do nitrogênio (E), kg ha ⁻¹ | | | | | média |
|---|--|------------------------|----------------------------|-----------|-----------|--------|
| | ¹ (0-0-0) | (20-80-50) | (50-80-20) | (150-0-0) | (0-80-70) | |
| Concentração de N nas raízes, g kg ⁻¹ | | | | | | |
| Milho | 9,1 ⁽²⁾ | 11,0 | 11,2 | 10,1 | 11,7 | 10,6 b |
| Soja | 10,1 | 11,2 | 12,0 | 12,5 | 13,2 | 11,8 a |
| média | 9,6 b | 11,1 a | 11,5 a | 11,3 a | 12,4 a | |
| Teste F | E = 2,93* | P = 11,33** | P x E = 0,48 ^{NS} | | | |
| CV (parcela) = 3,34% | CV (subparcela) = 3,73% | | | | | |
| Quantidade N acumulada nas raízes (0 - 0,40 m), kg ha ⁻¹ | | | | | | |
| Milho | 5,8 | 15,2 | 14,9 | 13,0 | 15,2 | 12,8 a |
| Soja | 7,9 | 15,2 | 16,2 | 18,6 | 17,7 | 15,0 a |
| média | 6,9 b | 15,2 a | 15,5 a | 15,8 a | 16,5 a | |
| Teste F | E = 7,00** | P = 3,12 ^{NS} | P x E = 0,22 ^{NS} | | | |
| CV (parcela) = 9,49% | CV (subparcela) = 12,09% | | | | | |

⁽¹⁾ primeiro, segundo e terceiro número correspondem, respectivamente, a dose de N aplicada em pré-semeadura e quando as plantas apresentavam quatro e oito folhas completamente desenroladas. ⁽²⁾ Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.