

## Adubação nitrogenada: teoria

Durval Dourado Neto & Euro Roberto Detomini

### Introdução

O nitrogênio (N) é o principal elemento mineral responsável por trazer incrementos substanciais ao desenvolvimento das pastagens (Whitehead, 1995). Embora a atmosfera apresente-se como uma vasta fonte de N, o fornecimento de N através do uso de fertilizantes caracteriza-se por uma alta demanda de produto e por um alto custo energético e financeiro (Keulen et al., 1989), o que vem a justificar cada vez mais o uso de subsídios teóricos norteadores de manejo do uso racional desses fertilizantes.

O modelo representa a melhor forma de sintetizar o conhecimento sobre os diferentes componentes de um sistema, pois são capazes de sumarizar dados e transferir resultados de pesquisa aos usuários de forma extrapolável (Thornley, 1998; Dourado Neto et al., 1998).

O presente trabalho tem por objetivo apresentar um modelo de adubação nitrogenada aplicável à qualquer cultura anual.

### Aspectos teóricos fundamentais

O modelo foi desenvolvido visando determinar a quantidade de fertilizante nitrogenado a ser aplicada ( $Q_{FN}$ , kg.ha<sup>-1</sup> do fertilizante nitrogenado), utilizando as seguintes informações: produtividade desejada da parte exportável da cultura ( $P_{PE}$ , kg.ha<sup>-1</sup>) com teor de água ( $u$ , kg.kg<sup>-1</sup>) na parte exportável conhecido; teor de proteína bruta na parte exportável ( $T_{PB}$ , kg.kg<sup>-1</sup> - kg de proteína bruta por kg de fitomassa seca de parte exportável); teor de N na proteína bruta ( $T_{NPB}$ , kg.kg<sup>-1</sup> - kg de N por kg de proteína bruta); índice de colheita (fração da fitomassa seca que é exportável) (IC, kg.kg<sup>-1</sup> - kg de fitomassa seca de parte exportável por kg de fitomassa seca total); teor de N nas outras partes da planta ( $T_{NOP}$ , kg.kg<sup>-1</sup> - kg de N por kg de fitomassa seca de outras partes); quantidade relativa de N fornecida

pelo solo ( $N_s$ , kg.kg<sup>-1</sup> - kg de N fornecido pelo solo por kg de N total extraído); teor de N no fertilizante ( $T_{NF}$ , kg.kg<sup>-1</sup> - kg de N por kg do fertilizante); e eficiência da adubação nitrogenada ( $E_{fAN}$ , kg.kg<sup>-1</sup> - kg de N extraído pela planta proveniente do fertilizante por kg de N total aplicado) (Figura 1).

A exportação de N ( $E_N$ , kg.ha<sup>-1</sup> de N) é obtida por intermédio da seguinte expressão:

$$E_N = P_{PE} \cdot (1 - u) \cdot T_{PB} \cdot T_{NPB}$$

O retorno de N ( $R_N$ , kg.ha<sup>-1</sup>) com os restos culturais ao solo é assim expresso:

$$R_N = P_{OP} \cdot T_{NOP} \quad (2)$$

em que POP se refere à produtividade de outras partes (kg.ha<sup>-1</sup> - kg de fitomassa seca de outras partes por ha), a qual, conhecendo o índice de colheita (IC), pode assim ser calculada:

$$P_{OP} = \frac{P_{PE} \cdot (1 - u) \cdot (1 - IC)}{IC} \quad (3)$$

A extração de N ( $\bar{a}_N$ , kg.ha<sup>-1</sup>) é, portanto:

$$E_N = E_N + R_N \quad (4)$$

Sendo assim, a quantidade de N necessária ( $Q_N$ , kg.ha<sup>-1</sup>) é a extração de N descontando-se a quantidade de N que é fornecida pelo solo, levando em consideração a eficiência ( $E_{fAN}$ , kg.kg<sup>-1</sup>), de acordo com a seguinte equação:

$$Q_N = \frac{E_N \cdot (1 - N_s)}{E_{fAN}} \quad (5)$$

Substituindo a equação 4 na Equação 5, tem-se que:

$$Q_N = \frac{(E_N + R_N) \cdot (1 - N_s)}{E_{fAN}} \quad (6)$$

Substituindo as equações 1 e 2 na Equação 6, tem-se que:

<sup>1</sup>Professor Titular, Departamento de Produção Vegetal, Esalq, Universidade de São Paulo, Caixa Postal 9, Piracicaba-SP. dourado@esalq.usp.br, Bolsista do CNPq.

<sup>2</sup>Doutorando em Irrigação e Drenagem, Departamento de Engenharia Rural, Esalq, Universidade de São Paulo



$$Q_N = \frac{[P_{PE} \cdot (1-u) T_{PB} \cdot T_{NPB} + T_{NOP} \cdot P_{OP}] \cdot (1-N_s)}{Ef_{AN}} \quad (7)$$

Substituindo a Equação 3 na Equação 7, e levando em consideração o teor de N no fertilizante escolhido, tem-se a equação que denota a recomendação de adubação nitrogenada (QFN, kg.kg<sup>-1</sup> - kg do fertilizante nitrogenado por ha), conforme su-

do Homem com a aplicação de fertilizantes nitrogenados (e com o parcelamento da quantidade requerida) (Figura 4).

A rigor, os atributos quantidade relativa de N fornecida pelo solo (NS) e eficiência da adubação nitrogenada (EfAN) são determinados concomitantemente utilizando a técnica de

$$Q_{FN} = \frac{P_{PE} \cdot (1-u) [(T_{PB} \cdot T_{NPB} \cdot IC) + T_{Np} \cdot (1-IC)] \cdot (1-N_s)}{IC \cdot T_{NF} \cdot Ef_{AN}} \quad (8)$$

gerido em Dourado Neto & Fancelli (2004):

Como subsídios teóricos ao desenvolvimento do modelo, têm-se, hipoteticamente, as produções de nitrato e de amônio pelos microrganismos existentes no solo, fazendo com que a taxa de oferta natural de N à cultura anual seja praticamente constante ao longo do ciclo (para uma dada condição climática e para um dado teor de matéria orgânica no solo), a qual pode ser aumentada apenas mediante o aumento de matéria orgânica no solo (Figura 2).

Em contrapartida, tem-se a crescente taxa de demanda de N em função do aumento de fitomassa seca (Keulen et al., 1989) (Figura 3), o que vem a requerer mudanças na taxa de oferta por intermédio da intervenção

isótopos estáveis (fertilizante marcado). Para tal, é necessário utilizar um fertilizante enriquecido com 15N. Sendo assim, tem-se que trabalhar com um teor de 15N no fertilizante (15Nf, %) acima da abundância natural (An15N, 0,3663%) (Zapata, 1990):

$$Ns = 1 - \frac{^{15}Np \cdot An^{15}N}{^{15}Nf \cdot An^{15}N} \quad (9)$$

$$Ef_{AN} = \frac{\gamma}{Q_N} \left( \frac{^{15}Np \cdot An^{15}N}{^{15}Nf \cdot An^{15}N} \right) \quad (10)$$

em 15Np se refere à abundância (%) de 15N medida na planta (adubada com fertilizante enriquecido). A grande limitação dessa técnica, além

da capacitação profissional, é o custo do fertilizante enriquecido. Um grama de 15N (Sulfato de amônio) custa cerca de US\$190,00, ou seja, 1 kg de sulfato de amônio enriquecido com 10% de 15N custa US\$3,800,00.

Por ser dispendiosa a pesquisa desses atributos (e), e vasta a amplitude de variação dos mesmos, faz-se necessário que, na prática, valores sejam pragmaticamente assumidos conforme o tipo de solo (granulometria e teor de matéria orgânica), a condição climática, o sistema de produção, o fertilizante, a forma de aplicação e a experiência.

Keulen et al. (1989) afirmam que, quando o suprimento de N não é limitante, existe uma relação linear negativa entre o teor de N nos órgãos vegetais e o estágio de desenvolvimento; e genericamente sugerem, como ordem de grandeza, valores de teor de N em função do estágio variando de 6% a 2% para folhas, de 3% a 0,8% para hastes, e de 3,5% (emergência) a 1% (maturidade) para os tecidos do sistema radicular.

A quantidade relativa de N fornecido pelo solo dependerá principalmente do teor de matéria orgânica, da profundidade efetiva do sistema radicular e da cultura anterior (Dourado Neto e Fancelli, 2004).

O índice de colheita será inerente ao genótipo e à oferta ambiental, de tal forma que genótipos hábeis em produzir parte aérea são favorecidos em situações de boa disponibilidade hídrica e de nutrientes (Pedreira et al., 2001). Contudo, é possível que valores de IC dificilmente ultrapassem 0,6; principalmente tratando-se de situações não experimentais.

## Consideração final

O modelo proposto é recomendável para determinar a quantidade de fertilizante nitrogenado a ser aplicado, sendo necessário conhecer os valores específicos dos seguintes atributos: produtividade desejada, teor de água e teor de proteína bruta na parte exportável da cultura; teor de N na proteína bruta; índice de colheita; teor de N nas outras partes da planta; quantidade relativa de N fornecida pelo solo; teor de N no fertilizante e eficiência da adubação nitrogenada (os valores devem ser atribuídos pelo usuário, o qual deve permanecer suficientemente informado da ordem de magnitude gerada pela pesquisa aplicável a cada situação).

$P_{PE}$	$u$	$T_{PB}$	$T_{NPB}$	$IC$	$T_{NOP}$	$N_s$	$Ef_{AN}$	$T_{NF}$
$E_N = P_{PE} \cdot (1-u) \cdot T_{PB} \cdot T_{NPB}$								
$P_{OP} = \frac{P_{PE} \cdot (1-u) \cdot (1-IC)}{IC}$								
$R_N = P_{OP} \cdot T_{NOP}$								
$E_N = E_N + R_N$								
$Q_N = \frac{E_N \cdot (1-N_s)}{Ef_{AN}}$								
$Q_N = \frac{(E_N + R_N) \cdot (1-N_s)}{Ef_{AN}}$								
$Q_N = \frac{[P_{PE} \cdot (1-u) T_{PB} \cdot T_{NPB} + T_{NOP} \cdot P_{OP}] \cdot (1-N_s)}{Ef_{AN}}$								
$Q_{FN} = \frac{P_{PE} \cdot (1-u) [(T_{PB} \cdot T_{NPB} \cdot IC) + T_{Np} \cdot (1-IC)] \cdot (1-N_s)}{IC \cdot T_{NF} \cdot Ef_{AN}}$								

Figura 1. Representação esquemática do modelo para determinar a quantidade de fertilizante nitrogenado (a primeira linha representa as variáveis de entrada do modelo).



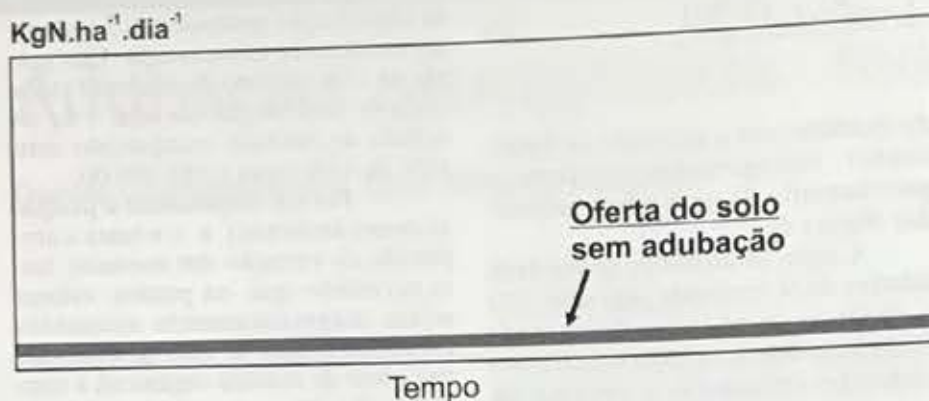


Figura 2. Nitrogênio: oferta do solo para um dado teor de matéria orgânica do solo e condição climática.

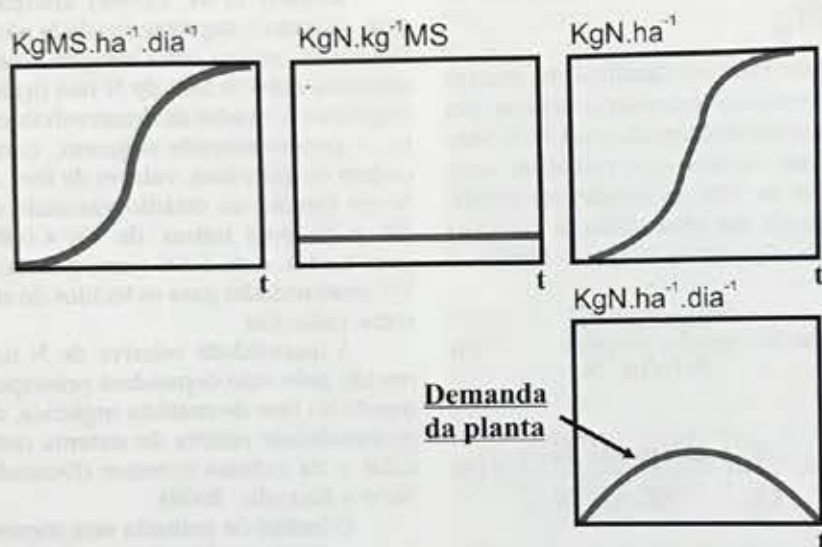


Figura 3. Nitrogênio: demanda da planta para uma dada produtividade.

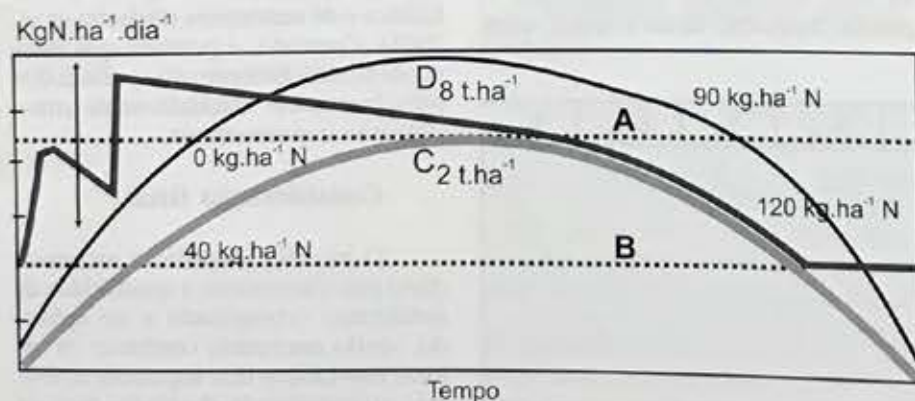


Figura 4. Representação hipotética das curvas de taxa de oferta de N no solo (A: alta oferta em solos com alto teor de matéria orgânica e B: baixa oferta em solos com baixo teor de matéria orgânica) e de demanda por N (C: demanda da cultura de milho com baixa produtividade - 2 t.ha<sup>-1</sup> - e D: demanda da cultura com alta produtividade - 8 t.ha<sup>-1</sup>) pela cultura de milho. A recomendação, quando parcelada, visa que a oferta (agora afetada pela intervenção: adubação na semeadura e em cobertura - curva em vermelho) seja sempre superior à demanda (para produzir 8 t.ha<sup>-1</sup> no solo de baixa oferta seriam necessários 120 kg.ha<sup>-1</sup> de N, enquanto que para produzir 2 ou 8 t.ha<sup>-1</sup> no solo de alta oferta seriam necessários 0 ou 90 kg.ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente).

## Referências bibliográficas

DOURADO NETO, D.; TERUEL, D.A.; REICHARDT, K.; NIELSEN, D.R.; FRIZZONE, J.A.; BACCHI, O.O.S. Principles of crop modeling and simulation: III. Modeling of root growth and other belowground processes, limitations of the models, and the future of modeling in agriculture. *Scientia Agricola*, v.55, p.58-61, 1998.

DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A.L. Produção de milho. Guaíba: Agropecuária, 2004. 360p.

KEULEN, H.van.; GOUDRIAAN, J.; SELIGMAN, N.G. Modeling the effects of nitrogen on canopy development and crop growth. In: RUSSEL, G.; MARSHALL, B.; JARVIS, P.G. Plant canopies: their growth, form and function. Cambridge: University Press, 1989. p. 83-104. (Society for Experimental Biology Seminar Series, 31).

PEDREIRA, C.G.S.; MELLO, A.C.L. de; OTANI, L. O processo de produção de forragem em pastagens. In: MATTOS, W. R. S. (Org.) A produção animal na visão dos brasileiros. Piracicaba: SBZ, 2001. p.772-807.

THÖRNLEY, J.H.M. Grassland dynamics - an ecosystem simulation model. Wallingford: CAB International, 1998. 241p.

WHITEHEAD, D.C. Grassland nitrogen. Wallingford: CAB International, 1995. 485p.

ZAPATA, F. Isotope techniques in soil fertility and plant nutrition studies. Austria: International Atomic Energy Agency, p.61-127, 1990. (Training Course Series, 2. Use of nuclear Techniques in Studies of Soil-Plant Relationships).





Revista ISSN 16778081

# PLANTIO DIRETO

Ano XVII - Número 102 - Novembro/Dezembro de 2007

Exemplar de assinante

**La Niña deve  
influenciar a  
safra 2007/2008**

## Cerrado:

**Estado da arte na produção  
de palha com milho safrinha  
em consórcio com braquiária**

• *Poderia ser a fertilidade  
entendida como uma propriedade  
emergente do sistema solo?*

• *Rotação de culturas como  
estratégia para o controle de  
pragas e doenças em plantio direto*