



## Manejo de nitrogênio no cerrado em sistema plantio direto: Resultados de trabalhos utilizando o isótopo estável $^{15}\text{N}$

*Manejo de nitrógeno en el sistema cerrado en labranza cero:  
Resultados de trabajos utilizando el isótopo estable  $^{15}\text{N}$*

Waldo Alejandro Ruben Lara Cabezas  
waldolar@terra.com.br

Doutor, pesquisador da APTA-SAA Polo Regional Sudoeste Paulista. Br **Manejo de nitrógeno en el sistema cerrado en labranza cero: Resultados de trabajos utilizando el isótopo estable  $^{15}\text{N}$ .asil**

Artículo recibido mayo 2016, arbitrado junio 2017 y publicado en septiembre 2017

### RESUMO

Produzir alimentos com margem de lucro, com base no preparo técnico e profissional (empresário rural), ciente da importância da conservação dos recursos solo e água para viver com dignidade e autoestima é o ponto chave da atividade agropecuária atual com sucesso. A falta de alguns desses atributos coloca em risco a permanência do produtor na atividade rural. Dentro da porteira cabe ao produtor a aplicação desses atributos para compensar a volatilidade do mercado, a presença do atravessador, situação climática, enfim, aspectos de escasso controle do produtor (fora da porteira). Entre os insumos, os fertilizantes oneram em forma expressiva os custos de produção, e especialmente os nitrogenados que quando bem manejados favorecem a produtividade com renda. Nesse trabalho se dá ênfase à importância da matéria orgânica (MO) no manejo da adubação nitrogenada, seguida de uma discussão de resultados apresentados em trabalhos utilizando o traçador  $^{15}\text{N}$  no manejo da adubação nitrogenada (fonte, dose, época e modo de aplicação), salientando-se as condições que levam a melhor eficiência de utilização dos fertilizantes nitrogenados em solos de Cerrado.

**Palavras chave:** Isótopo estável; empresário rural conservação do meio ambiente

### RESUMEN

Producir alimentos con un margen de ganancia, basado en la capacitación técnica y profesional (empresario rural), consciente de la importancia de la conservación de los recursos del suelo y el agua para vivir con dignidad y autoestima es el punto clave de la actividad agrícola actual con éxito. La falta de algunos de estos atributos compromete la permanencia del productor en la actividad rural. Dentro de la puerta, le corresponde al productor aplicar estos atributos para compensar la volatilidad del mercado, la presencia del intermediario, la situación climática y la falta de control del productor (fuera de la puerta). Entre los insumos, los fertilizantes cuestan significativamente los costos de producción, y especialmente los nitrogenados que, cuando se administran bien, favorecen la productividad con el ingreso. En este trabajo, se hace hincapié en la importancia de la materia orgánica (OM) en el manejo de la fertilización con nitrógeno, seguida de una discusión de los resultados presentados en trabajos que utilizan el marcador  $^{15}\text{N}$  en el manejo de la fertilización con nitrógeno (fuente, dosis, estación y modo de aplicación) Las condiciones que conducen a una mejor eficiencia en la utilización de fertilizantes nitrogenados en los suelos de Cerrado.

**Palabras clave:** isótopo estable; Emprendedor rural Conservación del medio ambiente

## ABSTRACT

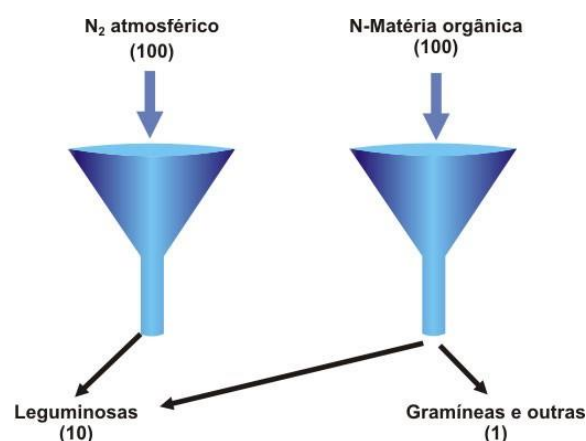
Producing foods with a margin of profit, based on technical and professional training (rural entrepreneur), aware of the importance of conservation of soil resources and water to live with dignity and self-esteem is the key point of current agricultural activity with success. The lack of some of these attributes jeopardizes the permanence of the producer in the rural activity. Within the gate, it is up to the producer to apply these attributes to compensate for the market volatility, the presence of the middleman, the climatic situation, and the lack of control of the producer (outside the gate). Among the inputs, fertilizers significantly cost the production costs, and especially the nitrogenous ones that, when well managed, favor productivity with income. In this work, emphasis is placed on the importance of organic matter (OM) in the management of nitrogen fertilization, followed by a discussion of results presented in works using the tracer <sup>15</sup>N in nitrogen fertilization management (source, dose, season and mode of application) the conditions that lead to better efficiency of nitrogen fertilizer utilization in Cerrado soils.

**Key words:** Stable Isotope; rural entrepreneur conservation of the environment

## NO CAMINHO DA INTRODUÇÃO

### Matéria orgânica do solo: fator essencial para fazer da adubação nitrogenada uma prática eficiente.

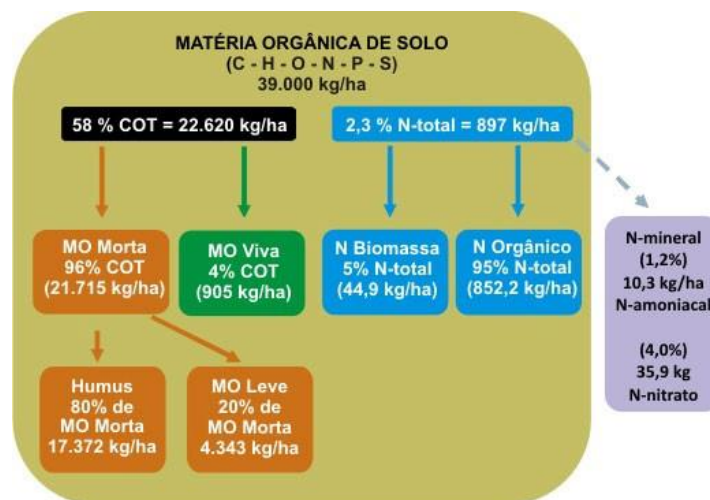
Sem desmerecer a importância de todos os nutrientes denominados essenciais, o nitrogênio (N) é grande responsável na obtenção de lucro em virtude de seu desempenho estratégico na planta. Paradoxal é que havendo tanto N na biosfera (78% v/v), fica restrita sua utilização direta à família das leguminosas. As gramíneas e outras espécies dependem do solo e fertilizantes para sua absorção. No solo a MO é a principal fonte de N associado ao carbono orgânico (CO), mas somente uma pequena fatia está disponível no ciclo de vida de uma cultura anual. A Figura 1 mostra mais claramente esta ideia.



**Figura 1.** Disponibilidade de N para a planta mostrada de forma ilustrativa, a partir dos estoques de N do ar e do solo.

Com base nos dados apresentados por Silva Mendonça (2007) se pode estimar a disponibilidade de N do solo para a cultura de milho, comparando-se situações com baixo e médio teor de MO, expressando-se os valores em kg ha<sup>-1</sup>. Considerando-se na Figura 2 um solo com 1,5 % de MO (15 g kg<sup>-1</sup>), e assumindo-se densidade de 1,3 kg L<sup>-3</sup> para a profundidade de 0 a 20 cm num hectare, há 2.600.000 kg de solo, correspondendo a 39.000 kg ha<sup>-1</sup> de MO. Dessa quantidade, aproximadamente 2,3 % corresponde a N-total (indisponível + disponível), é dizer, 897 kg ha<sup>-1</sup> de N. Entretanto, somente o 5 % (44,9 kg ha<sup>-1</sup> de N), corresponde a N potencialmente disponível, composto pelo N-biomassa

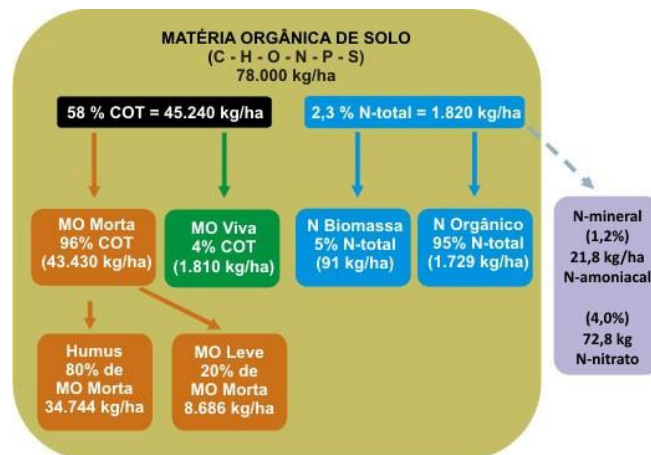
(micro-organismos microscópicos), sendo que a maior fração (95 %), corresponde a N-orgânico de difícil disponibilidade no ciclo de cultura anual. Ao longo do ciclo cultural (cinco meses), o solo utilizado neste exemplo poderia disponibilizar à solução de solo em torno de 46,7 kg ha<sup>-1</sup> nas formas de N-mineral (amônio + nitrato), formas em que a planta absorve o N principalmente. Considerando-se que são necessários aproximadamente 20 kg de N para cada tonelada de grãos de milho produzida e assumindo-se uma eficiência de utilização de 50 % do N disponibilizado, neste solo sem adubação nitrogenada, a expectativa de produção seria de apenas 1.168 kg ha<sup>-1</sup> de grãos.



**Figura 2.** Distribuição das frações de matéria orgânica (MO) e nitrogênio total para um solo contendo 15 g kg<sup>-1</sup> de MO.

No solo com 3,0 % de MO (30 g kg<sup>-1</sup>) teria 78.000 kg ha<sup>-1</sup> de MO, sendo 1.820 kg ha<sup>-1</sup> de N-total. Para simplificar, supondo uma taxa de mineralização de N similar ao caso anterior, ao longo do ciclo da cultura, 94,6 kg ha<sup>-1</sup> de N-mineral estariam disponibilizados, o que se traduz numa expectativa de produção de 4.730 kg ha<sup>-1</sup> de grãos, aproximadamente quatro vezes a

mais que no caso do solo anterior, numa condição sem aplicação de adubo nitrogenado. Portanto, um solo com maior teor de MO está associado ao conceito de solo fértil e com maior potencial de produção em virtude da qualidade nos atributos físicos, químicos e biológicos de solo (Souza & Rein, 2009). Ver Figura 3.



**Figura 3.** Distribuição das frações de matéria orgânica (MO) e nitrogênio total para um solo contendo 30 g kg<sup>-1</sup> de MO.

Portanto, aumentar o teor de MO de um solo, que demanda práticas de manejo adequadas em forma permanente, é o desafio de todo produtor que queira ter margem de lucro líquido significativo. O sistema plantio direto (SPD) preconizando principalmente o planejamento de rotação de culturas, a ausência de revolvimento de solo com manutenção permanente de cobertura viva e/ou morta sobre o solo é a estratégia adotada com sucesso na agricultura brasileira. Desde meados dos anos de 1970, a área cultivada com esse sistema de manejo tem aumentado de forma exponencial no Brasil, alcançando atualmente cerca de 27,5 milhões de hectares. No planeta, a área estimada sob esse sistema está em 105 milhões de hectares, 84% dos quais no continente americano (Briedis, 2011). Além da cultura de renda no verão é necessário adotar-se culturas de renda de segunda safra (safrinha) no outono/inverno ou com culturas de cobertura na época em que a pluviosidade é restrita. Da mesma forma que numa viagem de carro deve-se abastecer para evitar-se “pane seca”, o sistema de produção precisa de combustível (palha), fornecido pelas

culturas de inverno o que estará beneficiando a próxima safra, com formação de palha e subsequente MO após sua decomposição. Ter dinheiro na poupança equivale à palha na superfície de solo. Portanto,

PALHA = COMBUSTÍVEL = DINHEIRO

No Cerrado brasileiro a formação de palha é dificultada por: a) limitações climáticas por altas temperaturas, veranicos e estreita faixa de pluviosidade no verão e prolongada estiagem no outono/inverno; b) reduzida diversidade de culturas que reciclem os nutrientes para a cultura em sucessão e c) capital humano capacitado tecnicamente. Esta situação foi contornada no início da década de 2000, pela prática de consórcio milho/pastagem na mesma safra, denominada sistema Santa Fé – fazenda no Estado de Goiás onde foram realizados os primeiros testes - permitindo a colheita de grãos e favorecendo a permanência da pastagem no outono/inverno (escassez de chuvas) para cobertura de solo e/ou pastejo animal, controle de plantas daninhas, estruturação do solo e reciclagem de nutrientes (Agnes et al., 2004; Freitas et al., 2005; Borghi &



Crusciol, 2007; Crusciol et al., 2009). Na Figura 4 se mostra o consórcio milho/pastagem semeados em simultâneo e

o efeito na rebrota de plantas daninhas em sistema exclusivo e consorciado de milho.



Fonte: Crusciol et al.(2009)

Fonte: Lara Cabezas (2008)

**Figura 4.** Consórcio milho/pastagem (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) em estágio de desenvolvimento vegetativo (a) e comparativo de área cultivada com milho exclusivo e consorciada com pastagem após a colheita de grãos (b).

Da mesma forma é possível realizar o consórcio de milho com cana-de-açúcar (Figura 5) mostrando o expressivo desenvolvimento da cana, a qual poderia ser utilizada para pastejo direto animal ou corte para alimentação de gado confinado. Efetuada a colheita de grãos de forma mecanizada, não foi observado dano à cultura da cana. Esses testes foram realizado no Polo Regional de Votuporanga (SP) na safra 2007/2008.



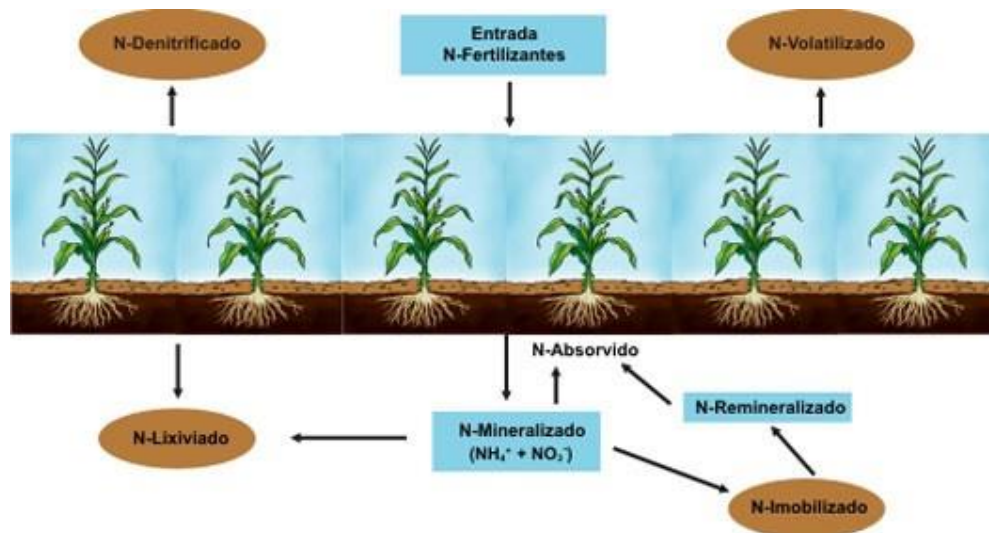
**Figura 5.** Cana forrageira variedade IAC 86 2480 consorciada com milho na entrelinha (a) e desenvolvimento da mesma no momento de colheita do milho (b). Votuporanga (SP).

Essa modalidade de cultivo aumenta significativamente a cobertura de solo com palha, em relação ao cultivo exclusivo, que posteriormente passa a formar parte da MO do solo, aumentando a fertilidade natural do solo. Com vista à importância da MO assinalada na fertilidade de solo e a modalidade de manejo para aumentar a mesma, cabe-se perguntar qual a interação dela com o fertilizante nitrogenado, independentemente da sua tecnologia de utilização. A maior eficiência de recuperação na planta do N-fertilizante está relacionada com um maior teor de MO num solo? Para responder a esses questionamentos brevemente são descritos os processos de transformação de N no solo, considerando fatores sob controle e não controláveis que afetam a intensidade das perdas (saídas do sistema) como resultados dessas transformações, para posteriormente discutir trabalhos publicados entre os anos 2000 a 2008 com

o uso do isótopo <sup>15</sup>N, ferramenta que permite quantificar o destino do N-fertilizante isolado do N-nativo do solo.

### Fatores de manejo sob controle e não controláveis nas perdas de N-fertilizante

O N-fertilizante para ser absorvido pelo sistema radicular precisa percorrer via fluxo de massa (acompanhando a movimentação da solução de solo) primeiramente um determinado volume de solo, onde simultaneamente se inicia o processo de transformação do N, por processos bioquímicos e físico-químicos, que podem resultar em maior ou menor perda, é dizer, maior ou menor disponibilidade de N para a cultura. Na Figura 6, de forma simplificada observa-se a ocorrência dos processos de transformação de N.



**Figura 6.** Processos de transformação de N-fertilizante aplicado ao solo que afetam a eficiência de utilização de N pela planta.

A condição climática alterada por pluviosidade irregular, veranicos, de alta intensidade num curto intervalo de tempo associado a altas temperaturas diurnas e noturnas são fatores não controláveis, assim como o tipo de solo, de textura arenosa, média ou argilosa. A disponibilidade de histórico climático incluindo-se frequência de veranicos e dados meteorológicos aliados ao conhecimento dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo poderá acrescentar a probabilidade de acerto na utilização do fertilizante nitrogenado. Por outro lado, o manejo do fertilizante por estudos para uma determinada região do comportamento da fonte, dose, época de aplicação e forma e modo de aplicação aliado ao conhecimento da marcha de absorção de nutrientes e produção de massa de matéria seca da cultura de interesse são fatores sob controle, podendo atenuar as perdas de N, conseqüentemente aumentando a eficiência de uso do fertilizante. Persiste ainda a falta de dados quantitativos em estudos de balanço de N-fertilizante de caráter regional para ponderar qual ou quais as perdas mais significativas, seja por lixiviação, volatilização amoniacal, imobilização e perdas gasosas por desnitrificação. O uso de fertilizantes marcados com  $^{15}\text{N}$  constitui a melhor ferramenta para a obtenção de dados quantitativos, entretanto, os altos custos do fertilizante marcado aliado à análise isotópica até o presente, tem limitado a sua utilização na pesquisa, considerando-se ainda a falta de preparo técnico de pesquisadores na área do uso aplicado de técnicas nucleares à agricultura.

### Resultados de pesquisas usando fertilizantes - $^{15}\text{N}$ na avaliação dos fatores sob controle

Estudos realizados entre os anos 2000 a 2008 nos Estados de São Paulo e Minas

Gerais, utilizando-se fertilizantes marcados com  $^{15}\text{N}$  são discutidos para compreender o comportamento de N aplicado em cobertura nitrogenada na cultura de milho, cultura tomada a modo de exemplo. Os tratamentos foram selecionados dos autores citados no Anexo 1, em solos com diferente manejo: SPD e solo com preparo, utilizando-se diferentes fontes nitrogenadas, doses e épocas de aplicação e onde estão explicitados os valores das variáveis: N-total absorvido pelo milho ( $N_{tap}$ ), nitrogênio na planta proveniente do fertilizante ( $N_{ppf}$ ), nitrogênio na planta proveniente do solo ( $N_{pps}$ ) e a eficiência ( $E$ ) de aproveitamento do N-fertilizante pela cultura. É obvio que mais trabalhos contribuirão a enriquecer a informação extraída de trabalhos com uso de traçador em condição de Cerrado. Algumas expressões são detalhadas a seguir para a melhor compreensão dos valores das variáveis assinaladas:

Na planta o N total absorvido está composto de:

$$N_{tap} = N_{ppf} + N_{pps}$$

sendo que:

$$N_{pps} = N_{-min} + N_{-ca}$$

onde  $N_{-min}$  corresponde ao N fornecido pelo solo via mineralização da MO e  $N_{-ca}$  o N liberado na decomposição da cultura antecessora.

De forma simplificada, a dose de N-fertilizante requerida pela cultura de milho ( $DN_f$ ) está dada pela seguinte expressão:

$$DN_f = N_{ppf}/E$$

De forma direta a  $E$  pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$E = (N_{ppf}/N_a) \times 100$$

sendo *N<sub>a</sub>* a dose de N-fertilizante aplicada. Esta última expressão leva implícito os fatores de perda de N- fertilizante assinalados anteriormente: N-lixiviado, N- imobilizado, N- desnitrificado, N- volatilizado e N- fertilizante residual no solo, não absorvido pela cultura. A *E* somente pode determinar-se em forma direta usando fertilizante enriquecido com o isótopo <sup>15</sup>N.

Faltam ainda dados mais consistentes na avaliação quantitativa dos processos de perda em condições de campo, devido principalmente a dificuldades de índole metodológica. Conhecer mais em profundidade esses processos possibilita orientar o manejo do fertilizante para aumentar a eficiência de utilização pela planta, diminuindo o impacto residual no meio. Isto deve ser feito regionalmente porque cada processo pode ter importância relativa diferenciada.

A seguir são discutidos os dados apresentados de trabalhos usando o isótopo <sup>15</sup>N o que permitirá efetuar um balanço de N-fertilizante requerido pela cultura de milho. Desses trabalhos foram listados 54 tratamentos apresentados no Anexo 1. A discussão toma como base a informação isotópica e de dados convencionais apresentadas pelos autores citados.

### **Análise dos dados isotópicos**

O N-total absorvido pela planta, independentemente de solo, dose, fonte, e época de aplicação e parcelamento, foi de 173,3 kg ha<sup>-1</sup>, sendo 35,6 kg ha<sup>-1</sup> de N-fertilizante absorvido (20,5 % do N-total) e 137,7 kg ha<sup>-1</sup> de N absorvido do solo (79,5 % do N-total), representando uma *E* média do fertilizante absorvido de 46,8 % em relação à média do N-aplicado. Isto explica a dificuldade em experimentos convencionais de conseguir diferenças

significativas de tratamentos de manejo de N porque a grande proporção de N na planta vem do solo em relação ao N-fertilizante absorvido. Isto enfatiza a importância da quantidade e qualidade da MO do solo. Na medida em que o solo tenha maior teor de MO no solo, mais N estará disponibilizado para o milho, como para outras culturas em geral. De aí que bons manejos conducentes a fazer palha na lavoura, levam à melhor nutrição da planta, e, portanto à melhor resistência a pragas e doenças. Aprofundando nos dados apresentados no Anexo 1, é interessante ver as condições que levaram nesses estudos à maior recuperação na planta de N-total e N-fertilizante, porque nisso estão envolvidos fatores de solo (não controláveis) e de manejo sob controle (dose, fonte, parcelamento e época). Para tal, de forma arbitrária foram agrupados intervalos de recuperação de N-total absorvido pela cultura de milho: 100 a 150 kg ha<sup>-1</sup>, 150 a 200 kg ha<sup>-1</sup> e 200 a 250 kg ha<sup>-1</sup>. Na Figura 7 se mostram agrupados para esses intervalos, os 54 tratamentos indicados no Anexo 1. Observa-se na Figura 7a que a planta absorvendo mais N-fertilizante, absorve quantidade expressiva de N-solo (*N<sub>pss</sub>*) em termos absolutos.

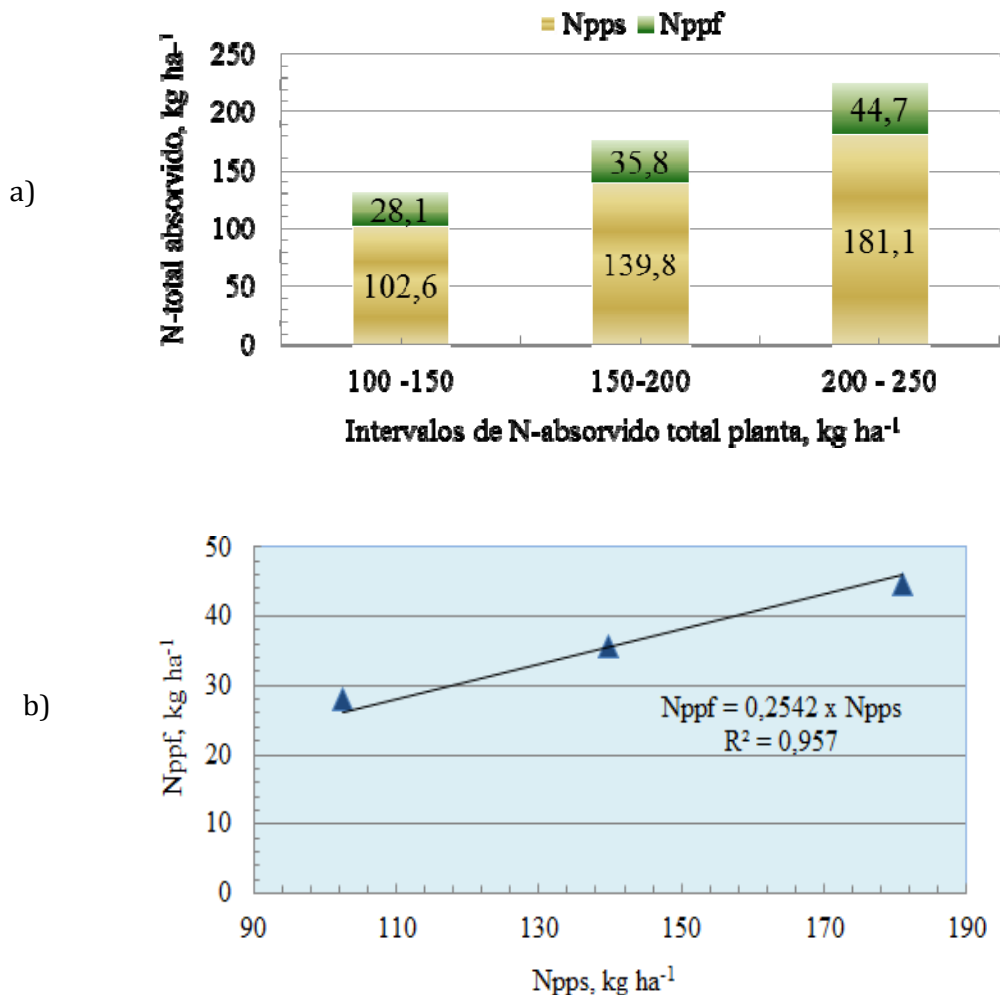
Para os valores médios de cada intervalo de N-absorvido total pela planta, 102,6 kg ha<sup>-1</sup>; 139,8 kg ha<sup>-1</sup> e 181,1 kg ha<sup>-1</sup> de *N<sub>pss</sub>* foram absorvidos, respectivamente e 28,1 kg ha<sup>-1</sup>; 35,8 kg ha<sup>-1</sup> e 44,7 kg ha<sup>-1</sup> de *N<sub>ppf</sub>* foram absorvidos, respectivamente. Com os dados médios empíricos de *N<sub>ppf</sub>* e *N<sub>pss</sub>* para cada intervalo de N-total absorvido foi efetuado o ajuste linear apresentado na Figura 7b. Assim, os valores estimados de *N<sub>ppf</sub>* foram 26,1 kg ha<sup>-1</sup>; 35,5 kg ha<sup>-1</sup> e 46,0 kg ha<sup>-1</sup> para cada intervalo de N-total absorvido. Do Anexo 1, pode-se obter as doses médias de N-aplicadas para esses intervalos sendo de



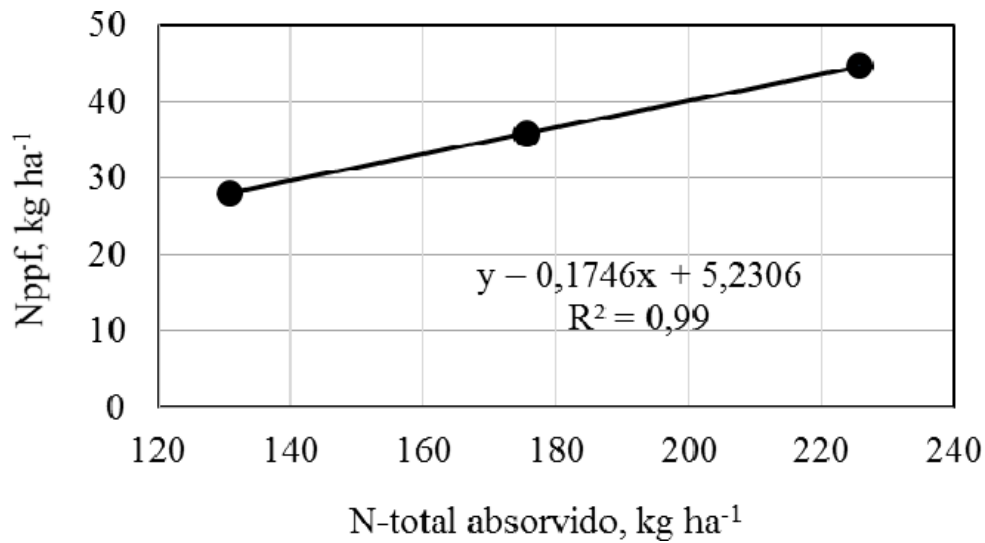
96,0 kg ha<sup>-1</sup>; 130,0 kg ha<sup>-1</sup> e 133,5 kg ha<sup>-1</sup>, independente do tipo de fonte. Com esses valores pode-se estimar a *E* do N-aplicado via fertilizante: 27,2 %; 27,3 % e 34,5 %. A *E* foi baixa e similar para os primeiros dois intervalos, havendo algum acréscimo da mesma para o intervalo de 200 a 250 kg ha<sup>-1</sup> de N-absorvido, insinuando que num solo mais fértil a *E* do N- fertilizante aumenta.

Esses valores de *E* são muito inferiores aos considerados pela literatura que normalmente considera *E* em torno de 50 % do N-aplicado, em sua grande maioria calculada de forma aparente ao usar o

tratamento de referencia (controle) com zero dose de N em relação a tratamentos com diferentes doses de aplicação de N-fertilizante. Pode-se inferir que um solo rico em MO tendo maior potencial de mineralização de N, junto com favorecer qualidade nos atributos físicos, principalmente na estruturação do solo está facilitando a exploração do sistema radicular e conseqüentemente ampliando o transporte tanto do N-solo como do N-fertilizante, via fluxo de massa, à sua absorção pela planta.



**Figura 7.** Distribuição para a parte aérea da cultura de milho do N-total absorvido e as frações de N-planta proveniente do fertilizante (*Nppf*) e proveniente do solo (*Npps*) aplicado em cobertura (a) e a correlação para estimar-se o *Nppf* a partir dos valores médios de *Npps* para cada intervalo de N-absorvido total pela planta (b) com base nos dados apresentados no Anexo 1. Na Figura 8 se apresenta a correlação efetuada entre os dados de *Nppf* e *Npps* obtidos dos dados apresentados no Anexo 1 para 54 tratamentos.



**Figura 8.** Nitrogenio na planta proveniente do fertilizante (*Nppf*) em função do N-total absorvido. Ajuste efetuado a partir dos valores de *Nppf* e *Npps* apresentados na Figura 7a.

Agrupando os dados do Anexo 1 de acordo às fontes nitrogenadas utilizadas, independente dos intervalos de N-absorvido pela planta, na Tabela 1 para 50 tratamentos, se observa o comportamento

das fontes para as doses médias aplicadas (base + cobertura), o N-total absorvido o *Nppf*, o *Npps* e a *E* experimental e estimada das fontes. As fontes apresentaram *E est.* similar, em torno de 37 % a 40 %.

**Tabela 1.** Fonte, dose de N-aplicado (semeadura + cobertura), N-total absorvido pela planta, N-planta proveniente do fertilizante (*Nppf*), N-planta proveniente do solo (*Npps*), eficiência do N-fertilizante (*E*) e *E* estimada (*E est.*) a partir do ajuste da Figura 7b.

Tratamentos	Fonte	Dose	N - Total absorvido		<i>Npps</i>	<i>Nppf</i>	(N-E <i>E Est.</i> sem + cobertura)
Número			kg ha <sup>-1</sup>				%
11	Sulfato de amônio (SA)	134,3	207,7	50,9	156,8	37,9	39,9
30	Ureia (U)	139,4	185,6	36,9	148,8	26,5	37,8
9	U+SA	122,9	178,1	25,9	152,2	21,1	38,7

(1) A *E est.* foi calculada a partir da estimativa de *Nppf* a partir dos valores médios de *Npps* segundo ajuste apresentado na Figura 7b e a seguir estimada por: (*Nppf est.*/N-aplicado) x 100.

### Análise dos dados convencionais

Dados convencionais desses tratamentos como massa seca (MS) da parte aérea e grãos de milho, e sua relação com o N absorvido pela parte aérea, nos grãos, a relação N-grão/N-planta e a quantidade de N requerida para a produção de uma tonelada de grãos e de MS são apresentados

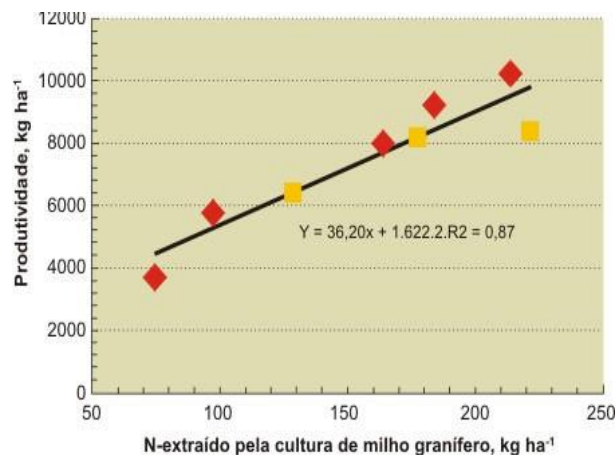
na Tabela 2. Esses dados foram obtidos com base no Anexo 2 somente para os tratamentos que apresentaram essa informação nos trabalhos consultados (38). De igual forma tomando-se como referência a quantidade de N-total absorvido pela planta, foram agrupados os dados para os mesmos intervalos usados na Figura 7.

**Tabela 2.** Distribuição de massa de matéria seca (MS) e do N- total absorvido pela cultura de milho na parte aérea e grãos, N no grão por N-planta, N por tonelada de grãos e de MS, de acordo aos intervalos de N-total absorvido pela planta nos tratamentos apresentados na Tabela 3.

Tratamentos número	Intervalo de N-total	MMS			N			Ng/ N planta kg kg <sup>-1</sup>	N/t grãos kg t <sup>-1</sup>	N/t MMS kg t <sup>-1</sup>
		Parte aérea	Grãos	Total	Parte aérea	Grãos	Total			
6	100 - 150	5.487	6.371	11.858	40,0	91,0	131,0	0,69	14,1	11,0
24	150 - 200	8.302	7.420	15.711	60,6	109,0	169,7	0,64	14,9	11,0
8	200 - 250	10.251	8.467	18.719	88,4	131,2	219,6	0,60	15,6	11,8

Da figura 7 e a Tabela 2 fica claro que a maior absorção de N-total pela planta (acima de 200 kg ha<sup>-1</sup>), aumenta a produção de MS (acima de 18 t ha<sup>-1</sup>), com uma exportação relativa média dos três intervalos de 64% do N-total para o grão, média de 14,9 kg ha<sup>-1</sup> de N requeridos para a produção de 1 t ha<sup>-1</sup> de grãos e 11,3 kg ha<sup>-1</sup> de N para a produção de 1 t ha<sup>-1</sup> de MS.

Como estes indicadores se refletem na produtividade de grãos? Na Figura 8 se mostra a produtividade de grãos estimada em função do N-absorvido pela cultura de milho. Essa correlação nos permite estimar que para 10.000 kg ha<sup>-1</sup> de grãos, a planta deve extrair 231,4 kg ha<sup>-1</sup> de N-total (solo + fertilizante).



**Figura 9.** Produtividade de grãos na cultura de milho em função da quantidade de N extraído pela planta inteira (excluindo o sistema radicular).

## **Contribuição do N da palha da cultura antecessora à cultura do milho**

Em SPD a diferença de sistema plantio convencional (SPC), com preparo de solo, cabe ponderar a importância do N-residual da cultura antecessora para a cultura de milho, como fonte de entrada de N a cultura em sucessão devido à reciclagem de N. Na região do Sudeste há alguma informação disponibilizada por trabalhos utilizando <sup>15</sup>N no material da cobertura morta e sua quantificação na cultura de milho em sucessão. Duete et al. (2008) quantificaram a recuperação de 2,27 % e 3,98 % de N-residual no milho proveniente das culturas antecessoras milheto e crotalária, respectivamente na safra 2002/2003 e de 2,64 % e 2,91 %, respectivamente na safra 2003/2004. Duete et al. (2008) quantificaram recuperação no milho de 4,1 % de N-residual proveniente de cobertura morta de milho, após seis meses de pousio. A reciclagem de N no Cerrado da cultura antecessora resulta pouco significativa devido ao grande intervalo de tempo que transcorre entre o manejo da cultura antecessora e a semeadura da cultura em sucessão. Para os efeitos dos cálculos apresentados no balanço a seguir, será considerado valor de 3 % de N proveniente da cultura antecessora para a cultura de milho em sucessão. A escassa pluviosidade no outono-inverno por um lado limita o crescimento em geral de gramíneas e leguminosas e o destino do N após o manejo sofre os processos de transformação (imobilização, volatilização, desnitrificação e/ou lixiviação), o que estaria explicando a exígua reciclagem do nutriente. Mais interessante deve ser a reciclagem de N proveniente de pastagem

dessecada antes da semeadura de milho em verão, em vista que o intervalo de tempo é menor entre o manejo dessa e a semeadura de milho.

## **Balanço entre a demanda e oferta de N para a obtenção de seis, oito e 10 t ha<sup>-1</sup> de grãos com base nos antecedentes apresentados.**

Do anteriormente exposto, pode-se finalmente de forma estimada efetuar-se o balanço entre a demanda de N pela cultura de milho, o fornecimento pelo sistema e as doses de N-fertilizantes necessárias para a obtenção de 6000; 8.000 e 10.000 kg ha<sup>-1</sup> de grãos, segundo cálculos apresentados na Tabela 3. Nesse balanço está implicitamente incluído o teor de MO do solo, na medida em que para a obtenção de maiores produtividades o solo deve ser fértil gerando uma alta disponibilidade de N à planta via mineralização do N-MO, que é a grande proporção que a planta absorve em relação ao N-fertilizante. **O fertilizante está atuando como um subsídio e não sendo o fator determinante da alta produtividade.** É a fertilidade do solo que favorece a maior absorção do N-fertilizante. Segundo o exposto, doses de até 150 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura seriam necessárias em sintonia com a fertilidade do solo para obter-se um melhor investimento em insumo. Se poderá atender às práticas de uso adequado dos fertilizantes com estudos fartos na área de época, doses, modo e forma de aplicação, mas, acredita-se da discussão dos resultados apresentados que se o solo não está "saudável" em termos de seus atributos químicos, físicos e biológicos pouco efeito pode-se esperar das práticas de manejo. Isto é válido para todos os nutrientes em geral.



**Tabela 3.** Balanço entre a demanda de nitrogênio pela cultura de milho, o ofertado pelo sistema e o requerido via N-fertilizante para três níveis de produtividade de grãos.

Componente do balanço <sup>(1)</sup>	6.000	Produtividade, kg 8.000	ha <sup>-1</sup> 10.000
<b>N requerido pela planta</b>			
N-parte aérea (kg ha <sup>-1</sup> )	43,5	63,4	83,3
N-grão (kg ha <sup>-1</sup> )	77,4	112,8	148,1
N-total absorvido (kg ha <sup>-1</sup> )	120,9	176,2	231,4
<b>N-ofertado pelo sistema</b>			
N-nativo do solo (kg ha <sup>-1</sup> )	94,6	140,2	185,8
N-cultura antecessora (kg ha <sup>-1</sup> )	3,6	5,3	6,9
N-total ofertado pelo sistema (kg ha <sup>-1</sup> )	98,2	145,5	192,7
<b>N requerido do fertilizante em cobertura</b>			
N-fertilizante efetivo (kg ha <sup>-1</sup> )	22,7	30,7	38,7
Eficiência N-fertilizante (%)	27,2	27,3	34,5
N-fertilizante aplicado (kg ha <sup>-1</sup> )	83,5	112,5	112,2
<b>N-total aplicado</b>			
N-fertilizante na semeadura (kg ha <sup>-1</sup> )	40	40	40
N-fertilizante em cobertura (kg ha <sup>-1</sup> )	84	113	112
N-fertilizante total a aplicar (kg ha <sup>-1</sup> )	124	153	152

(1) N-total absorvido: estimado para cada patamar de produtividade pelo ajuste da Figura 9. N-parte aérea: calculado pela diferença entre N-total absorvido e N-grão. N-grão: utilizando-se o valor médio dos três intervalos de N-grão em relação ao N-total absorvido (0,64) da Tabela 2. N-nativo do solo: calculado pela diferença entre N-total absorvido e  $N_{ppf}$ . O valor de  $N_{ppf}$  foi estimado pelo ajuste da Figura 8. N-cultura antecessora: considerado valor médios de 3 % do N-total absorvido, segundo dados com base na literatura. N-total ofertado pelo sistema: N-nativo do solo + N-cultura antecessora. N-fertilizante efetivo: N-total absorvido - N-total ofertado pelo sistema. Eficiência N-fertilizante ( $E$ ):  $(N_{ppf}/N_a) * 100$ . N-fertilizante aplicado:  $(N\text{-fertilizante efetivo}/E) * 100$ . N-fertilizante na semeadura: 40 kg ha<sup>-1</sup> considerado valor adequado pela literatura para SPD. N-fertilizante em cobertura: já indicado anteriormente. N-fertilizante total a aplicar: semeadura + cobertura.

## CONCLUSÕES

1. O uso intensivo do solo de forma permanente com sistema de rotação de culturas (diversidade de sistemas radiculares) aliado ao consórcio de cultivos de forma planejada é a forma menos onerosa para transformar o recurso solo num substrato fértil, com acréscimo num curto prazo no teor da MO no solo.
2. A MO do solo aliado a condições adequadas de manejo de uso de N-fertilizantes aumentam a eficiência do N-fertilizante conjuntamente com uma absorção expressiva do N mineralizado da MO, refletindo-se numa maior produtividade de grãos, sendo desnecessária a aplicação de altas doses de N.
3. Desta forma é aplicável o conceito de sustentabilidade econômica, técnica e ambiental ao manejo de uso de fertilizantes nitrogenados.
4. Em nível de pesquisa a quantificação dos processos de transformação de N requer de aprofundar estudos com uso de isótopo estável de <sup>15</sup>N para uma avaliação regional da importância relativa dos processos de perdas de N do sistema solo-planta, informação necessária no manejo dos adubos nitrogenados.

## REFERÊNCIAS

- Agnes, E. L.; Freitas, F. C. L. & Ferreira, L. R. Situação atual da integração agricultura pecuária em Minas Gerais e na Zona da Mata Mineira. In: ZAMBOLIM, L.; FERREIRA, A. A.; AGNES, E. L. Manejo integrado: integração agricultura-pecuária. Viçosa-MG, 2004.
- Briedis, C. Calagem: Efeitos na agregação e matéria orgânica do solo. A Granja, n. 752, agosto 2011. BORGHI, E. & CRUSCIOL, C.A.C. Produtividade de milho, espaçamento e modalidade de consorciação com *Brachiaria brizantha* em sistema plantio direto. Pesq. agropec. bras., 42: 163-171, 2007.
- Crusciol, C.A.C.; Soratto, R.P.; Borghi, E. & Mateus, G.P. Integração Lavoura-Pecuária: Benefícios das gramíneas perenes no sistema de produção. Piracicaba, Potafos, 2009. 14p. (Informações Agronômicas, 125).
- Duete, R.R.C.; Muraoka, T.; Da 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. R. Bras. Ci. Solo, 32: 161-171, 2008.
- Freitas, F.C.L.; Ferreira, L.R.; Ferreira, F.A.; Santos, M.V.; Agnes, E.L.; Cardoso, A.A. y Jakelaitis, A. Formação de pastagem via consórcio de *Brachiaria brizantha* com o milho para silagem no sistema plantio direto. Planta Daninha, 23: 49-58, 2005.
- Silva, I.R. y Mendonça, E.S. Matéria orgânica do solo. In: SBCS-Fertilidade de Solo, Eds. NOVAIS, R.F., ALVAREZ, V.H., BARROS, N.F., CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. SBCS, Viçosa, 2007. p. 275-374.