



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"
Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas



LSN 5810 – Adubos e Adubação

**Fertilizantes nitrogenados: obtenção,
características e manejo da adubação**

Prof. Dr. Rafael Otto
E-mail: rotto@usp.br

Piracicaba, SP

1. DINÂMICA DO N NO SOLO

a) **Macronutriente Primário**



b) **O Nitrogênio (N) é o mais utilizado, mais extraído e o mais exportado pelas culturas**

c) **É o nutriente de obtenção mais cara e com maior potencial de causar problemas ambientais**

Conclusão: Utilizar adequadamente

Ocorrência natural de N

N ocorre nas quatro esferas terrestres

- Litosfera
- Atmosfera
- Hidrosfera
- Biosfera

Table 1—Inventory of N in the four spheres of the earth.

Sphere	Tg of N†
Lithosphere	1.636×10^{11}
Igneous rocks	
a) of the crust	1.0×10^9
b) of the mantle	1.62×10^{11}
Core of the earth	1.3×10^8
Sediments (fossil N)	$3.5\text{--}5.5 \times 10^8$
Coal	1.0×10^9
Sea-bottom organic compounds	5.4×10^5
Terrestrial soils	
a) Organic matter	2.2×10^5
b) Clay-fixed NH_4^+	2.0×10^4
Atmosphere	3.86×10^9
Hydrosphere	2.3×10^7
Biosphere	2.8×10^6

† Tg = terrogram = 10^{12} g or million metric tons. Estimates are from Stevenson (1965), Burns and Hardy (1975), and Söderlund and Svensson (1976).

Source: Stevenson (1982)

Ocorrência natural de N

Atmosfera é um grande reservatório:

- Ar contém 78% N₂ (por volume)
- A forma mais estável de N
- A principal fonte de N para os sistemas vivos
- N₂ se torna disponível às plantas por:
 - Fixação biológica de N₂
 - Raios
 - Produção de fertilizantes

Table 1—Inventory of N in the four spheres of the earth.

Sphere	Tg of N†
Lithosphere	1.636 × 10 ¹¹
Igneous rocks	
a) of the crust	1.0 × 10 ⁹
b) of the mantle	1.62 × 10 ¹¹
Core of the earth	1.3 × 10 ⁸
Sediments (fossil N)	3.5–5.5 × 10 ⁸
Coal	1.0 × 10 ⁵
Sea-bottom organic compounds	5.4 × 10 ⁵
Terrestrial soils	
a) Organic matter	2.2 × 10 ⁵
b) Clay-fixed NH ₄ ⁺	2.0 × 10 ⁴
Atmosphere	3.86 × 10 ⁹
Hydrosphere	2.3 × 10 ⁷
Biosphere	2.8 × 10 ⁵

† Tg = terrogram = 10¹² g or million metric tons. Estimates are from Stevenson (1965), Burns and Hardy (1975), and Söderlund and Svensson (1976).

Source: Stevenson (1982)

Atmosfera: Possui 78% de nitrogênio em volume na forma de gás inerte (N₂)

Elemento	Composição (%)
Nitrogênio	78
Oxigênio	21
CO₂	0,038
Outros gases	0,962

Nitrogênio no solo

Conteúdo total

- Superfície: 0,06-0,3% N (1.200-6.000 kg/ha 20 cm)
- Subsolo: < 0,02% N
- Solos orgânicos: até 3,5% N

Formas orgânicas de N

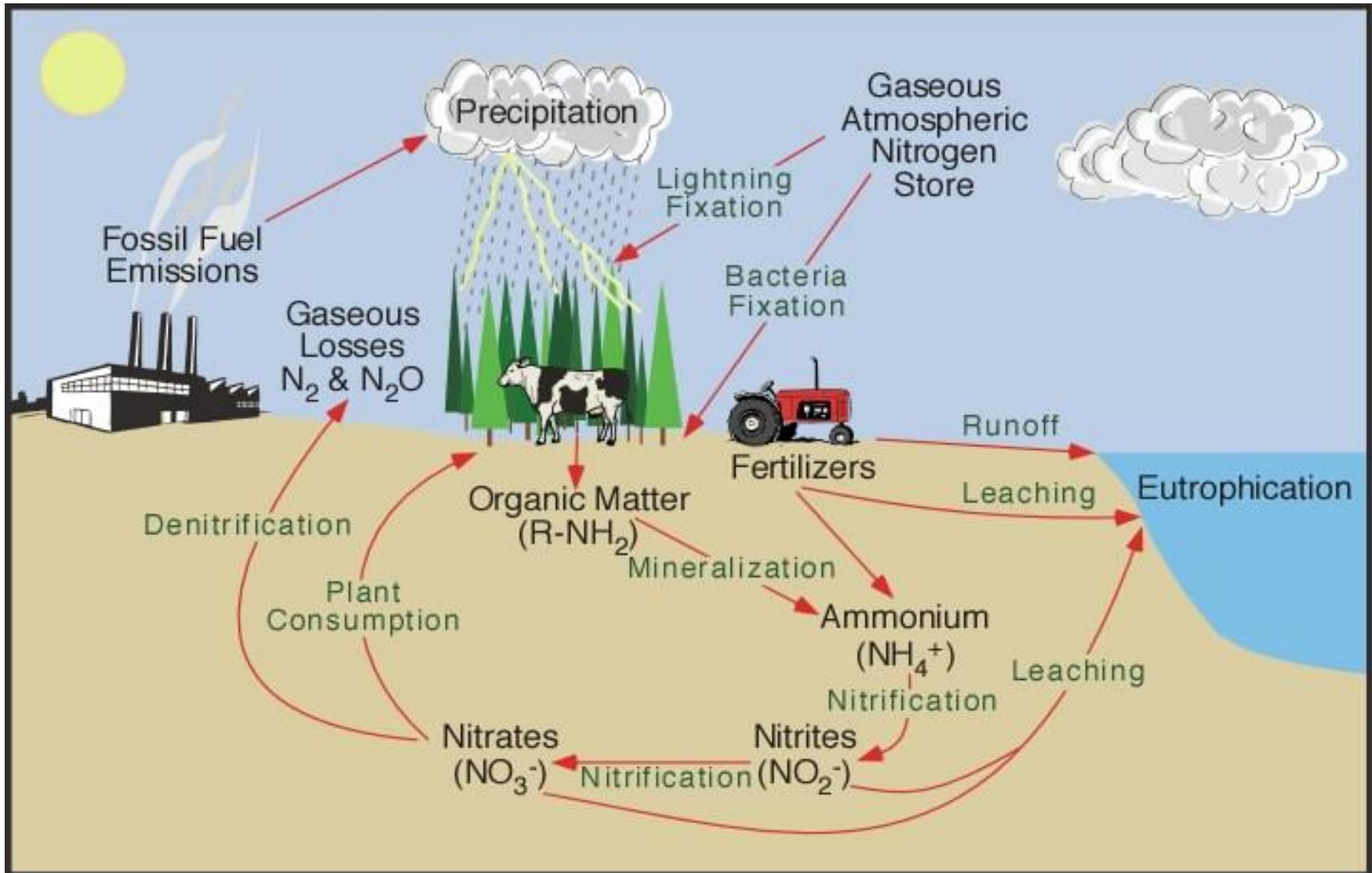
- > 95% do N total na maioria dos solos
- Cerca 50% do N orgânico em compostos conhecidos

<u>Forma de N</u>	<u>% do total</u>
Amino ácidos	20-40
Amino açúcares	5-10
Ácidos nucleicos	< 1

Formas inorgânicas de N

- Normalmente entre 2-5% do N do solo
 - Principais formas:
 - NH_4^+ amônio
 - NO_2^- nitrito
 - NO_3^- nitrato
 - N_2 dinitrogênio
 - N_2O óxido nitroso
 - NH_3 amônia
- } Formas gasosas

CICLO DO NITROGÊNIO NO SOLO



CICLO DO NITROGÊNIO

(e o que o homem tem feito para alterá-lo)

Mineralização: N orgânico \rightarrow NH_4^+ \rightarrow NO_3^-

Imobilização: NH_4^+ ou NO_3^- \rightarrow N orgânico

Hidrólise da ureia: $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + 2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{CO}_3$
 $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$

Inibidor de urease, fertilizantes de liberação lenta

Nitrificação: $\text{NH}_4^+ + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+$

Inibidor de nitrificação

Lixiviação: NO_3^- \rightarrow águas subterrâneas

Inibidor de nitrificação, fertilizantes de liberação lenta

Desnitrificação: $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$

Inibidor de nitrificação

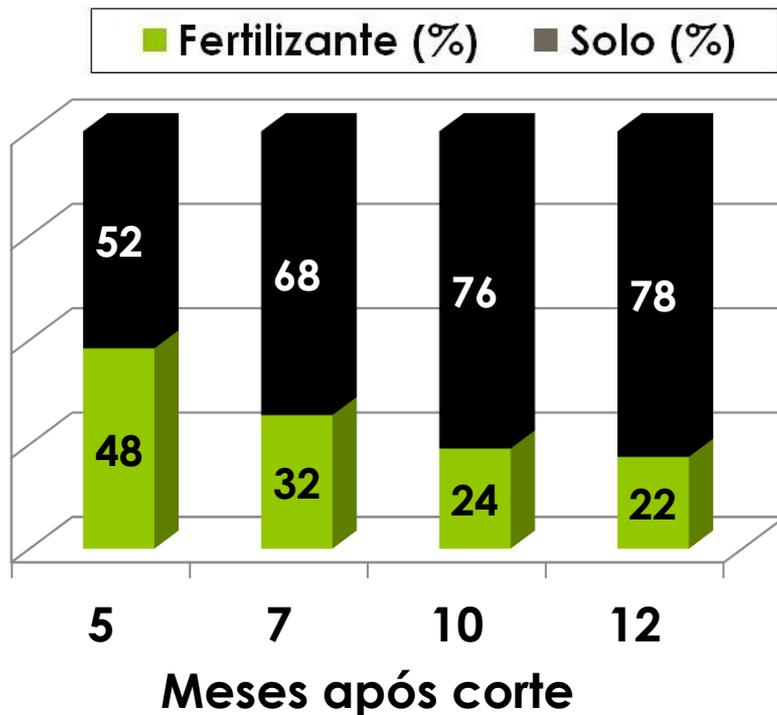
Mineralização

Significância

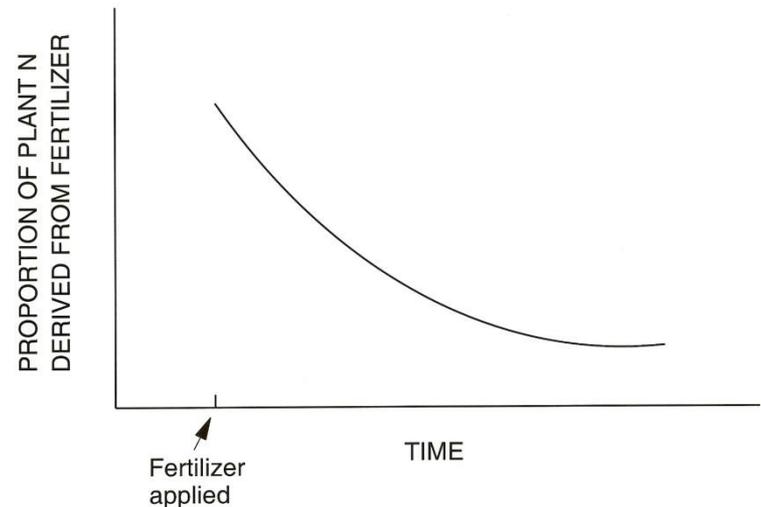
- **Processo mais importante de ciclagem do N no solo para crescimento de plantas**
- **Absorção de N pelas plantas é principalmente do solo (NPPS):**
 - **50-75% para milho**
 - **80-90% para cana-de-açúcar**
- **Fertilizantes funcionam como suplemento**
 - **Servem como fonte temporária de N**
- **Mineralização provém uma fonte contínua de suprimento de N para as plantas**

RECUPERAÇÃO DO N DO SOLO E DO FERTILIZANTE

Cana-de-açúcar (soqueira)



Fonte: Franco et al. (2011)



Fonte: Unpublished diagram (Mulvaney, 2005)

Processo de decomposição

- **Decomposição ocorre em estágios**
- **C e N são liberados como resíduos**
 - **C como CO_2**
 - **N como NH_4^+**
- **Realizado por variedade de microorganismos heterotróficos:**
 - **Fungos**
 - **Actinomicetos**
 - **Bacterias**

Estimando a mineralização do N do solo

0-20 cm

- **Assumindo**

- **2.000.000 dm³ ha⁻¹ e d=1,5 g cm⁻³
(3.000.000 kg ha⁻¹ de solo)**
- **Solo contém 2% de MO**
- **Matéria orgânica contém 5% N**
- **Mineralização de 2% do N orgânico por ano**

- **Cálculos**

$$\text{N mineralizado} = (3.000.000 \text{ kg ha}^{-1}) \times (2 \% \text{ MO}) \times (5\% \text{ N MO}) \times (2\% \text{ mineralização ano}^{-1}) =$$

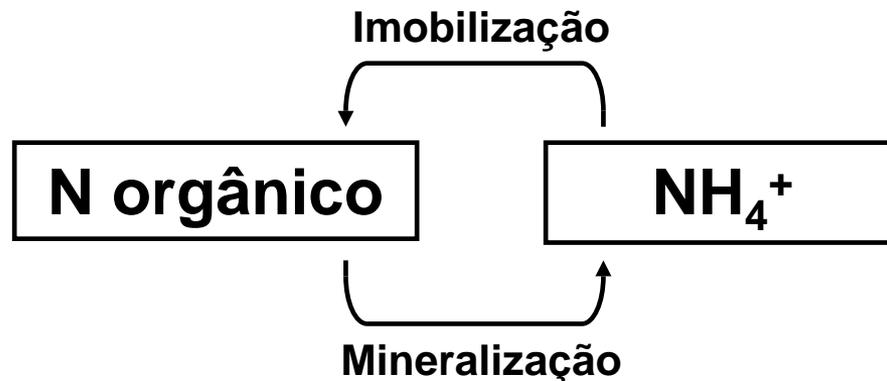
60 kg N ha⁻¹ ano⁻¹

Imobilização

Um processo de assimilação

- O reverso da mineralização, exceto que tanto o NH_4^+ ou NO_3^- podem ser imobilizados
 - NH_4^+ é fortemente preferido em relação ao NO_3^-
- Ambos processos podem ocorrer simultaneamente

“Mineralization-immobilization turnover (MIT)”



Efeito da relação C/N dos resíduos orgânicos

- Relação C/N crítica para mineralização e imobilização

<u>C/N</u>	<u>Efeito na disponibilidade de N inorgânico do solo</u>
< 20	aumento
20-30	ausente
> 30	diminuição

Nitrificação

Um processo oxidativo

- Etapa 1



- Etapa 2



Realizado por bactérias do solo

- Etapa 1 devido a *Nitrosomonas*
- Etapa 2 devido a *Nitrobacter*
- Ambos grupos são quimiautotróficos aeróbios
 - C do CO_2
 - Energia da oxidação do N

Nitrificação é favorecida por

- Alcalinidade
 - pH ótimo: 8-8.5
 - Calagem promove nitrificação

Source: Kyveryga et al. (2004)

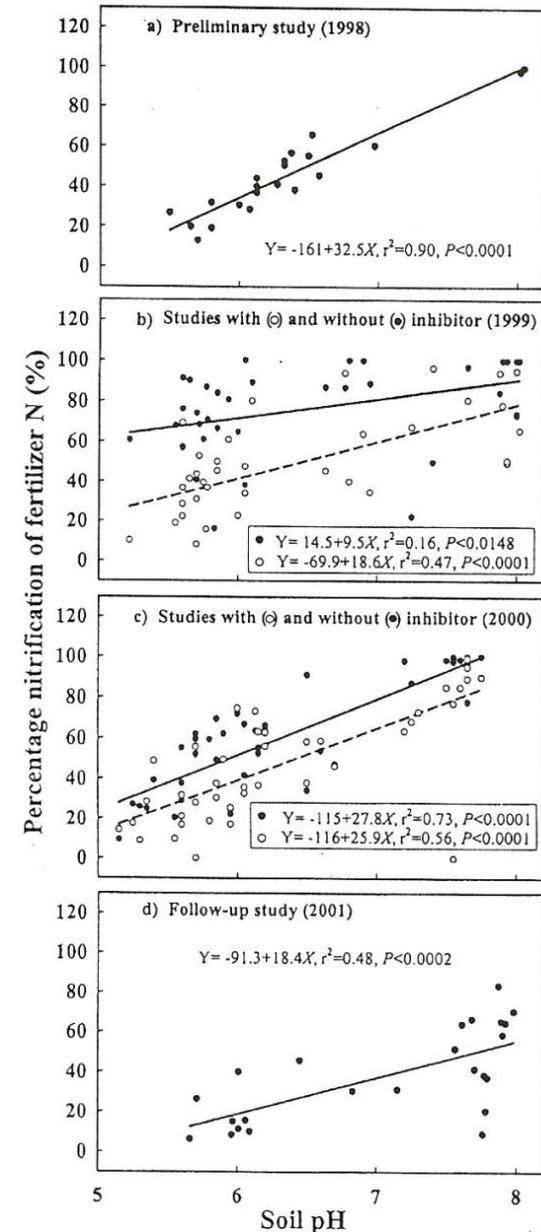
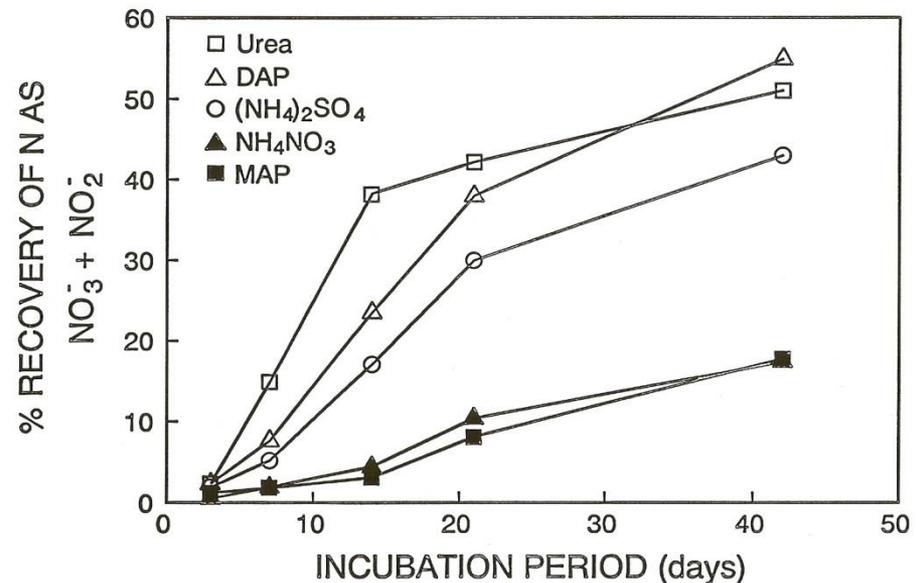


Fig. 4. Relationship between soil pH and percentage nitrification of fertilizer N.

Favorecido por

- Alcalinidade
 - Diferentes taxas de nitrificação entre os fertilizantes nitrogenados
 - Alguns tem reação básica:
 NH_3 , ureia, DAP
 - Outros tem reação ácida:
 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4NO_3 , MAP



Source: Mulvaney (1994)

- **Aeração do solo**
 - **Ambas etapas requerem O₂**

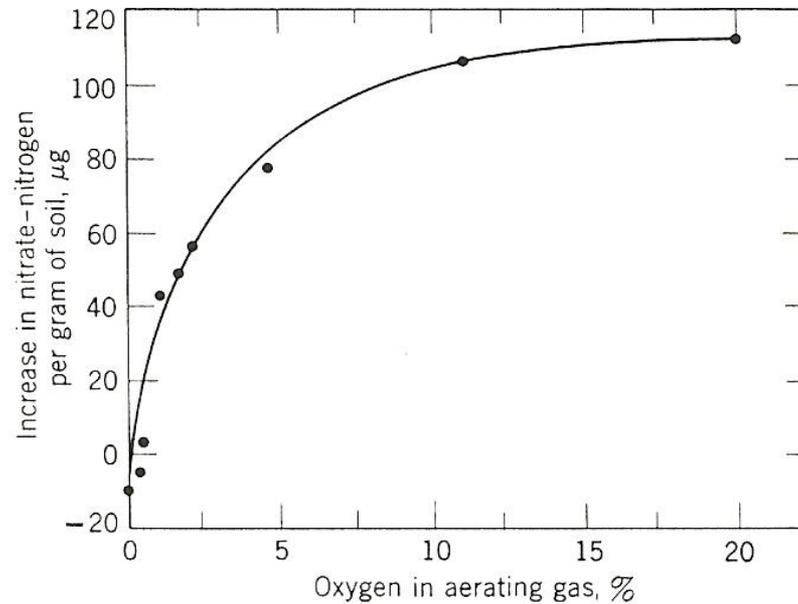
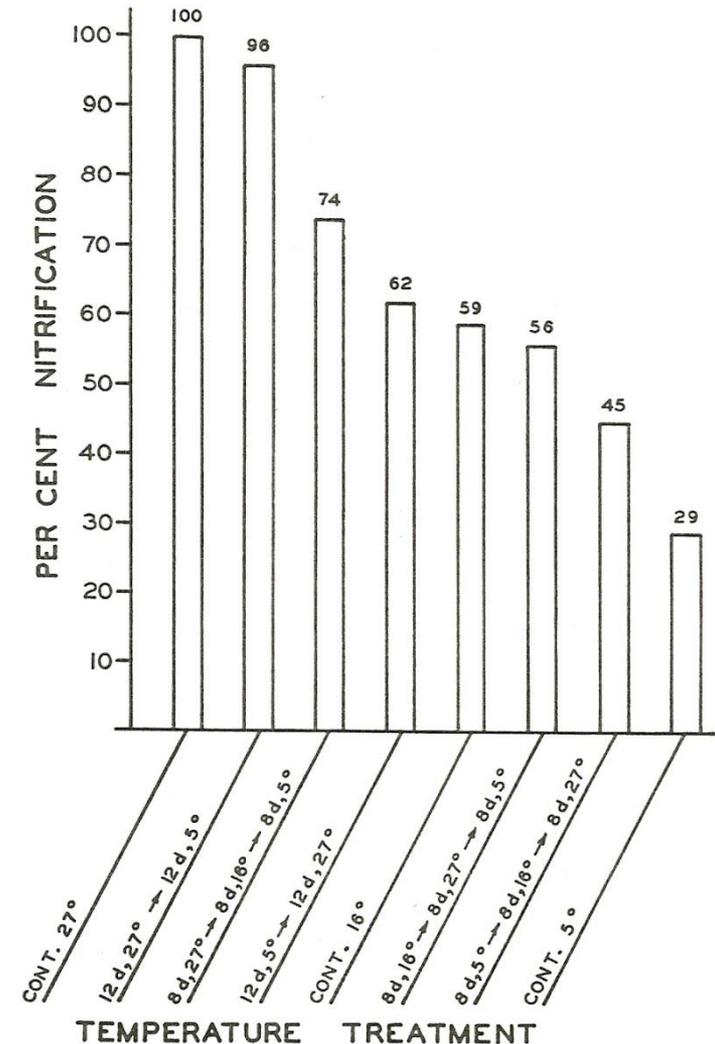


Figure 7.21. Increase in nitrate-nitrogen during incubation of a silt loam soil with ammonium sulfate for three weeks at 30°C under continuous aeration with air-nitrogen mixtures differing in oxygen percentage. (Amer, 1949)

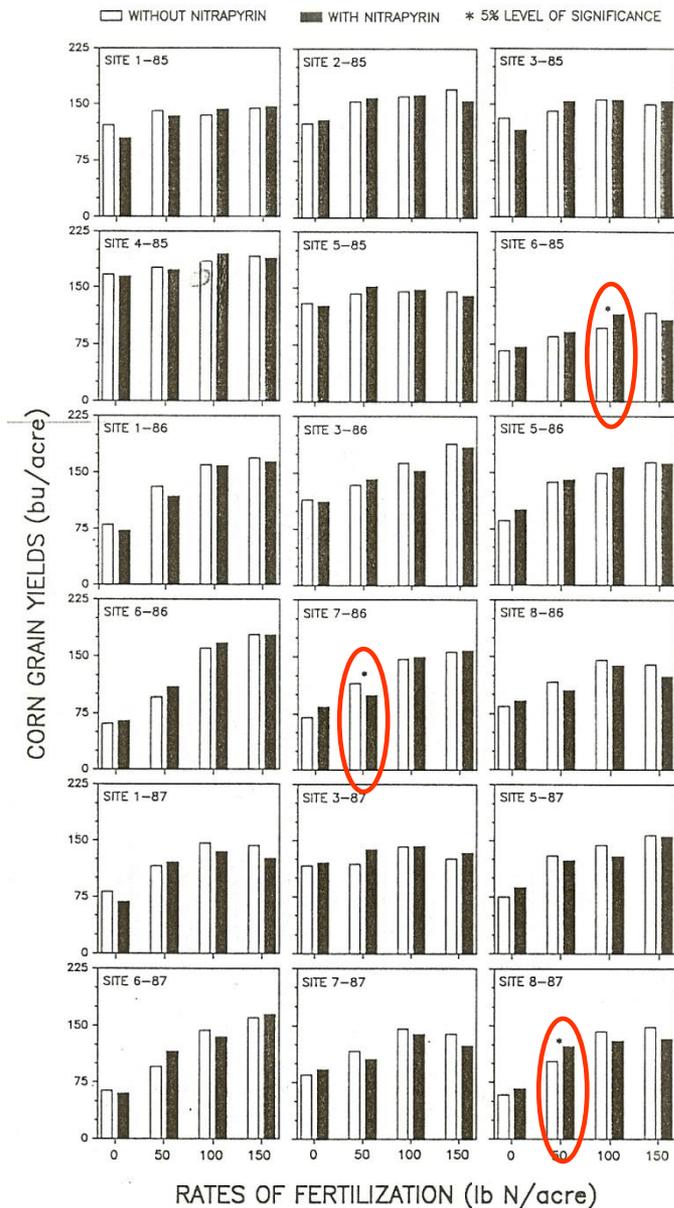
Source: Black (1968)

- Alta umidade do solo
 - Capacidade de campo: ótimo
 - Pouca nitrificação no ponto de murcha
 - E também em solos inundados
- Temperaturas altas
 - Ótimo entre 25-35°C



Source: Chandra (1962)

INIBIDOR DE NITRIFICAÇÃO



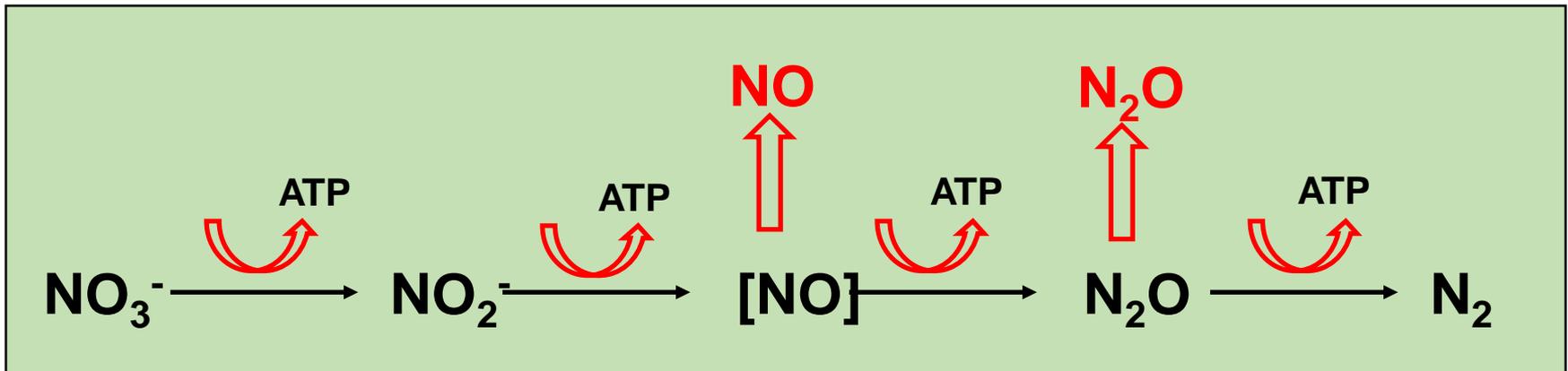
- Nitrpyrin (N-Serve) afetou significativamente a produtividade em 3 de 72 comparações
- Em dois dos casos, houve aumento de produtividade
- No outro, houve decréscimo da produtividade

Fonte: Cerrato and Blackmer (1990)

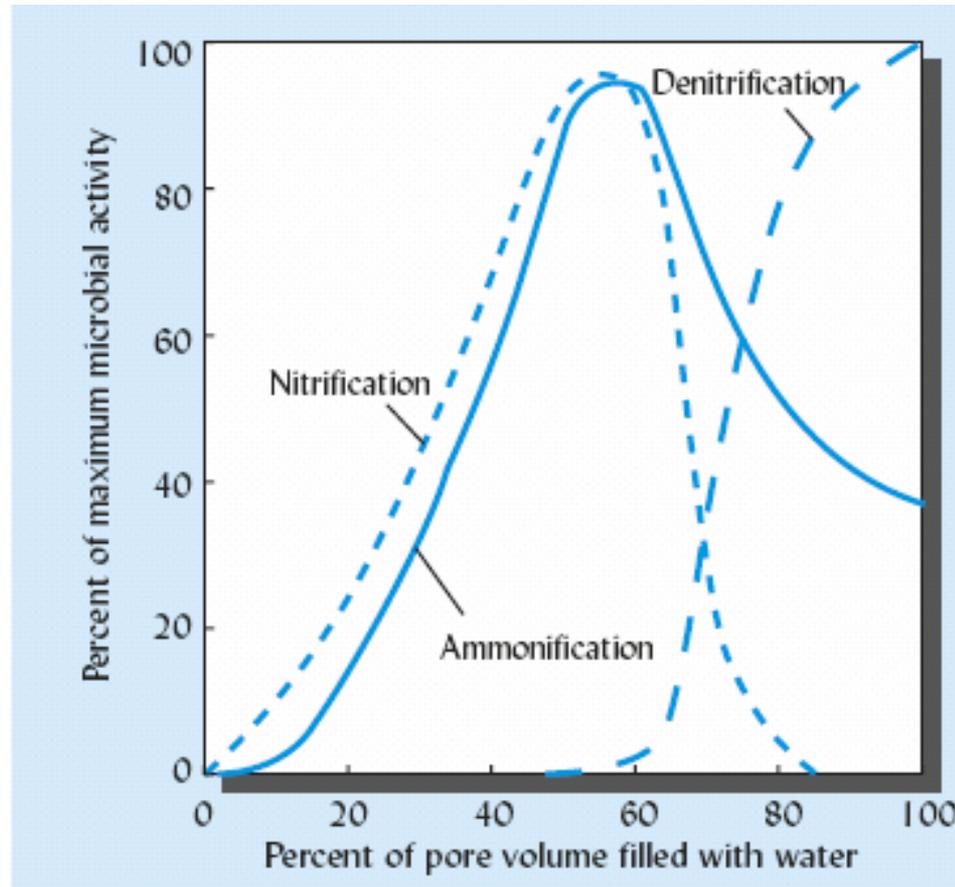
Desnitrificação

Processo anaeróbico

- Gases formados pela redução do NO_3^-
 $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \rightarrow \rightarrow \text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$
- Ocorre em solos alagados ou com alta umidade
- Carreado por bactérias
 - Principalmente heterotróficas
 - Podem viver com ou sem O_2



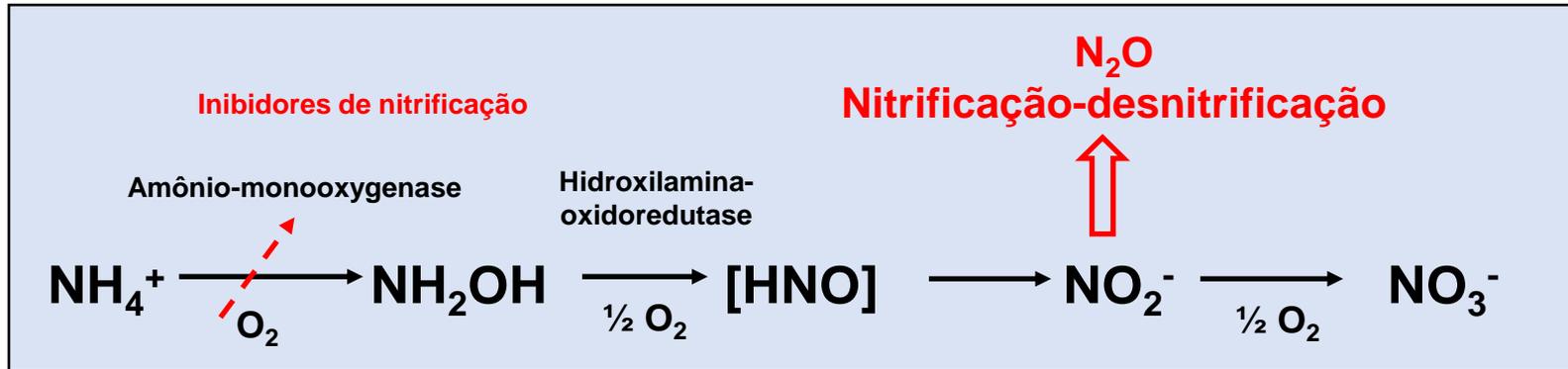
Desnitrificação



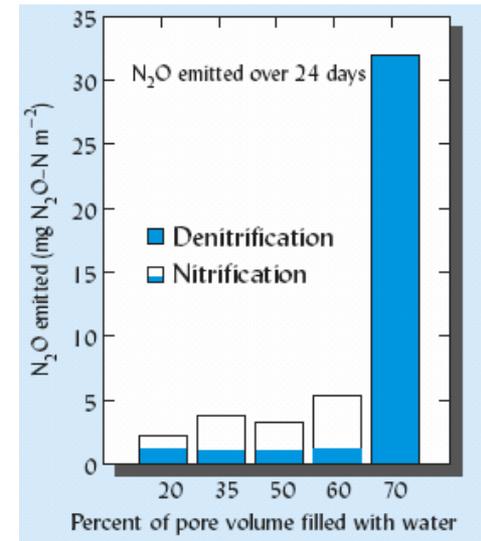
Fonte: Bowman, 1998

Desnitrificação

Preocupação recente → Também ocorre no processo de nitrificação



Fonte: Weike et al., 2001



Fonte: Bateman e Baggs (2005)

Fatores que afetam a desnitrificação

- C orgânico mineralisável
 - Fonte de energia para desnitrificadores
 - Diminui O_2 pelo estímulo à respiração
 - Subsolo: pouca desnitrificação
- Suprimento de NO_3^- e NO_2^-
 - Alto NO_3^- aumenta relação N_2O/N_2

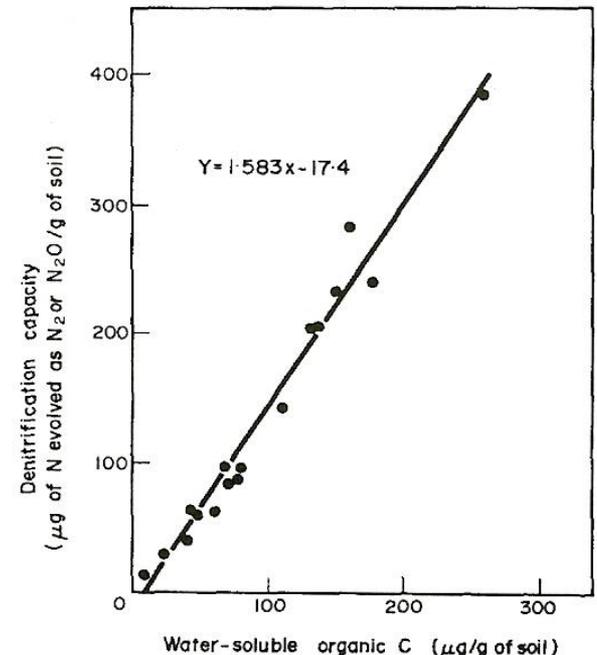


Fig. 2. Relationship between denitrification capacity and water-soluble organic carbon (17 soils).

Source: Burford and Bremner (1975)

- Temperaturas quentes

- 2°C Sem desnitrificação
- 2-22°C Efeito marcante da temperatura
- 22-54°C Pequeno efeito da temperatura
- > 54°C Diminuição na desnitrificação

- Alcalinidade

- Como para nitrificação
- Acidez aumenta a relação N_2O/N_2

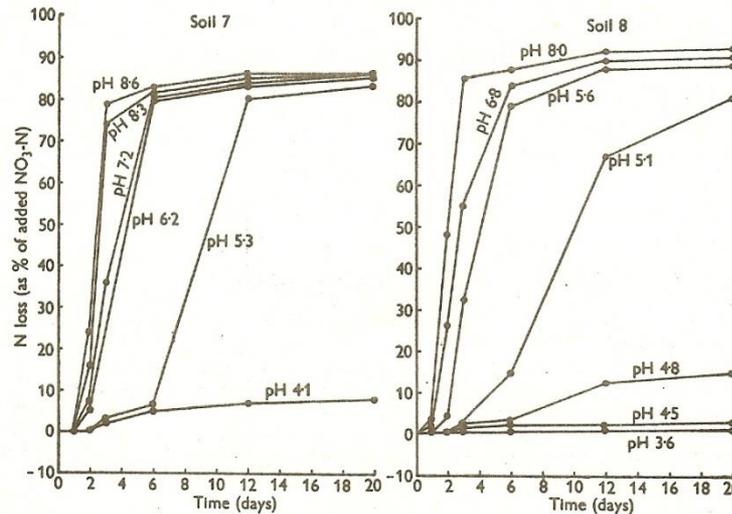


Fig. 2. Effect of soil pH on denitrification. 5 g. samples of soils 7 and 8 previously adjusted to different pH values by addition of calcium hydroxide were incubated at 25° C. with 11 ml. water containing 5 mg. NO₃-N (as KNO₃) and 15 mg. C (as glucose).

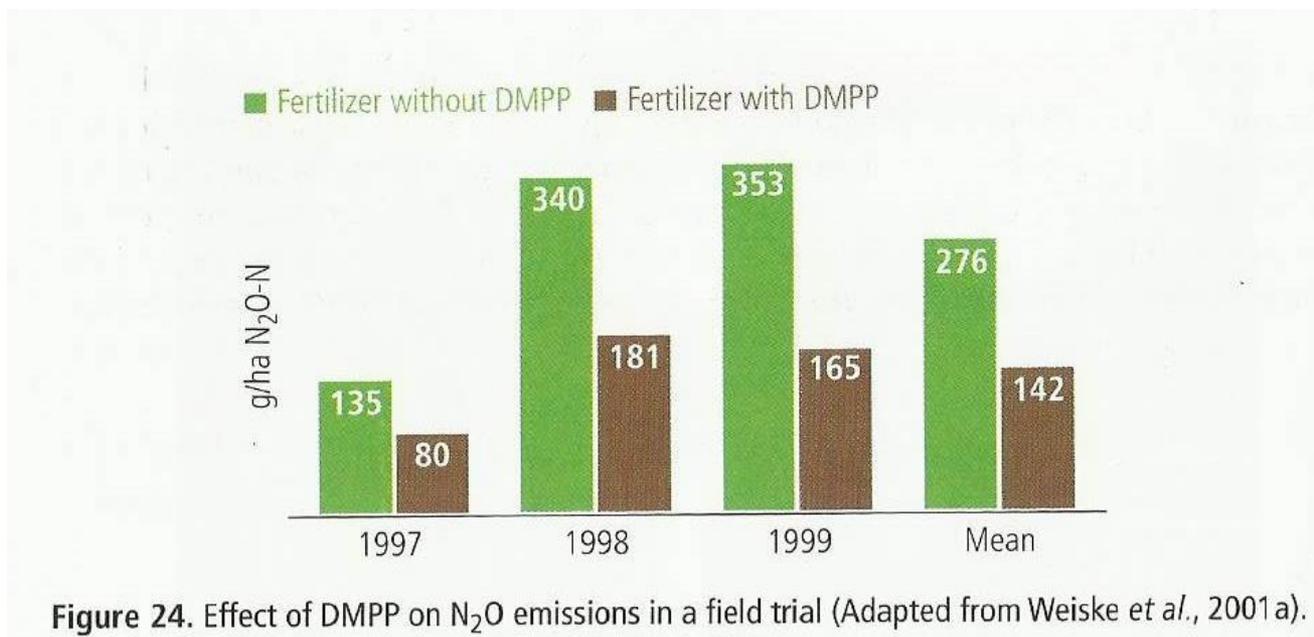
Source: Bremner and Shaw (1958)

Estratégias para controlar a desnitrificação

- Manejo adequado da adubação
 - Não aplicar fertilizante em solo encharcado
- Parcelamento da adubação nitrogenada
 - Limita o suprimento de NO_3^- como substrato
- Inibidores de nitrificação
 - Limita o suprimento de NO_3^- como substrato
 - Não necessariamente aumenta produtividade

Estratégias para controlar a desnitrificação

Inibidores de nitrificação



Implicações ambientais da desnitrificação

Efeitos adversos

- Emissão de N_2O

Problemas ambientais do N_2O

- Um gás de efeito estufa
 - 300× mais potente do que CO_2 por unidade de massa
- Promove destruição do ozônio estratosférico

Fator de emissão de N_2O dos fertiliz. nitrogenados

- IPCC: 1 % da dose de N aplicada

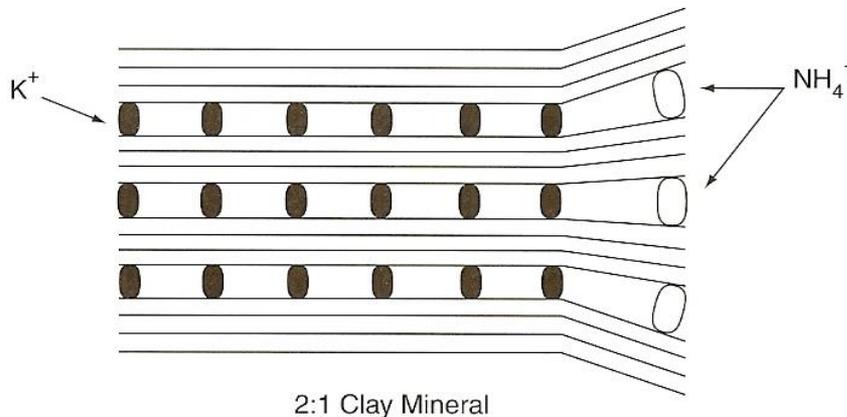
Efeito dos fertilizantes nitrogenados na emissão de N₂O

- **Nitrificação produz acidez**
 - **Aumenta relação N₂O/N₂**
- **O NO₃⁻ proveniente do fertilizante**
 - **Promove desnitrificação**
 - **Aumenta relação N₂O/N₂**

Transformações químicas do N no solo

Fixação de amônio

- NH_4^+ é “fixado” nas entrecamadas de certos minerais de argila 2:1, especialmente:
 - Illita
 - Vermiculita
- O mesmo processo ocorre com o K^+
- Fixação é devido ao tamanho



Source: Havlin et al. (2005)

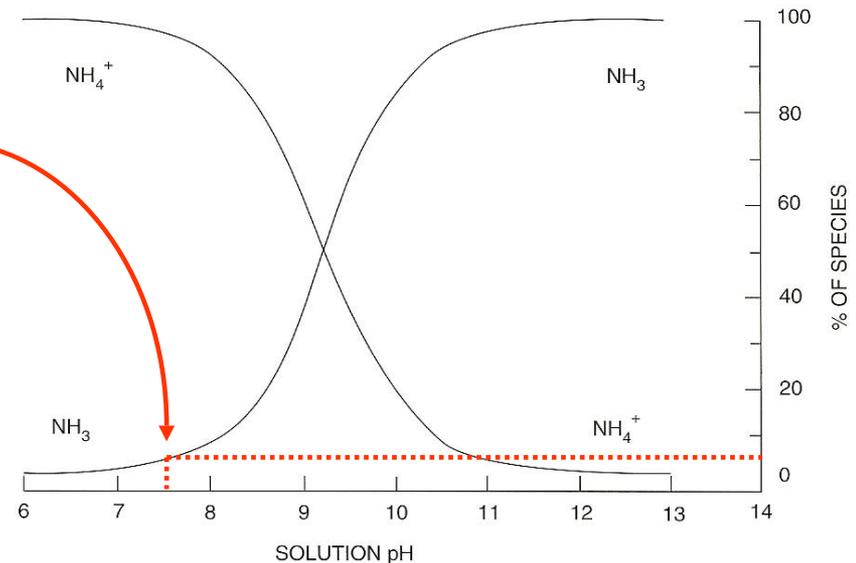
Volatilização de amônia

Mecanismo químico



Favorecido por

- Alta concentração de NH_4^+
 - De resíduos orgânicos
 - De fertilizantes
- **Alcalinidade** ($\text{pH} > 7.5$)
- Baixa CTC que limita:
 - Adsorção de NH_4^+
 - Capacidade tampão



Source: Havlin et al. (2005)

Lixiviação de nitrato

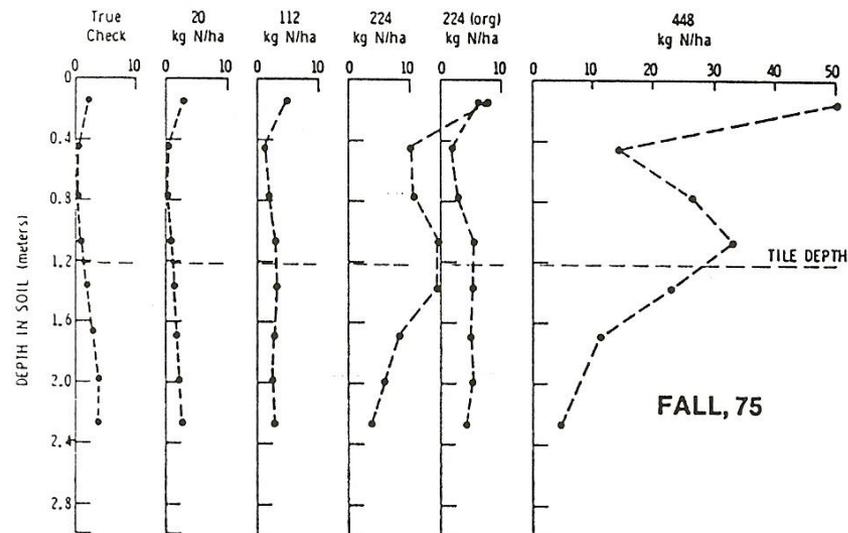
Fatores que afetam a intensidade da lixiviação

- Concentração de NO_3^- no solo
- Tipo de solo

<u>Textura do solo</u>	<u>Prof. de lixiviação (por 25 mm de chuva)</u>
Média/argilosa	5-6
Arenosa	$\cong 12$

- Condições climáticas
 - Chuva (quantidade e intensidade)
- Umidade do solo
- Profundidade do perfil de solo

- Irrigação
- Presença de plantas
 - Absorção de NO_3^- reduz lixiviação
 - Absorção de água também
- Profundidade de enraizamento
 - recuperação do NO_3^- lixiviado
- Fertilização nitrogenada
 - Adubações pesadas aumentam lixiviação de NO_3^-



Source: Gast et al. (1978)

Fig. 1—Nitrate-N distribution in a Webster clay loam profile (ppm of air dry soil) in the fall of 1974 and 1975 as influenced by N treatment.

DEFINIÇÕES

Table 2. Agronomic indices of N use efficiency and their typical ranges in cereals.

NUE index	Calculation	Interpretation	Common values
<p>PFP_N - Partial factor productivity of applied N (often simply called nitrogen use efficiency or NUE)</p> <p>(kg harvest product per kg N applied)</p> <p>see Fig. 1a insert</p>	$PFP_N = Y_N/F_N$	<ul style="list-style-type: none"> Most important for farmers because it integrates the use efficiency of both indigenous and applied N resources: $PFP_N = (Y_0/F_N) + AE_N$ Increasing indigenous soil N (Y_0) and the efficiency of applied N (AE_N) are equally important for improving PFP_N Limited potential for identifying specific constraints or promising management strategies . 	<p>40–70 kg grain kg⁻¹ N</p> <p>>70 kg kg⁻¹ at low rates of N or in very efficiently managed systems</p>
<p>AE_N = Agronomic efficiency of applied N</p> <p>(kg yield increase per kg N applied)</p> <p>see Fig. 1a</p>	$AE_N = (Y_N - Y_0)/F_N$	<ul style="list-style-type: none"> AE_N is the product of the efficiency of N recovery from applied N and the efficiency with which the plant uses each additional unit of N acquired: $AE_N = RE_N \times PE_N$ AE_N can be increased by N, crop, and soil management practices that affect RE_N, PE_N, or both. 	<p>10–30 kg grain kg⁻¹ N</p> <p>>30 kg kg⁻¹ in well-managed systems or at low levels of N use or low soil N supply</p>
<p>RE_N = Crop recovery efficiency of applied N</p> <p>(kg increase in N uptake per kg N applied)</p> <p>see Fig. 1c</p>	$RE_N = (U_N - U_0)/F_N$	<ul style="list-style-type: none"> RE_N depends on the congruence between plant N demand and the quantity of N released from applied N. RE_N is affected by the N application method (amount, timing, placement, N form) as well as by factors that determine the size of the crop N sink (genotype, climate, plant density, abiotic/biotic stresses). 	<p>0.30–0.50 kg kg⁻¹</p> <p>0.50–0.80 kg kg⁻¹ in well-managed systems or at low levels of N use or low soil N supply</p>
<p>PE_N = Physiological efficiency of applied N</p> <p>(kg yield increase per kg increase in N uptake from fertilizer)</p> <p>see Fig. 1d</p>	$PE_N = (Y_N - Y_0)/(U_N - U_0)$	<ul style="list-style-type: none"> PE_N represents the ability of a plant to transform N acquired from fertilizer into economic yield (grain). PE_N depends on genotypic characteristics (e.g., harvest index), environmental and management factors, particularly during reproductive growth. Low PE_N suggests sub-optimal growth (nutrient deficiencies, drought stress, heat stress, mineral toxicities, pests). 	<p>30–60 kg kg⁻¹</p> <p>>60 kg kg⁻¹ in well-managed systems or at low levels of N use or low soil N supply</p>

F_N – amount of (fertilizer) N applied (kg ha⁻¹)

Y_N – crop yield with applied N (kg ha⁻¹)

Y_0 – crop yield (kg ha⁻¹) in a control treatment with no N

U_N – total plant N uptake in aboveground biomass at maturity (kg ha⁻¹) in a plot that received N

U_0 – the total N uptake in aboveground biomass at maturity (kg ha⁻¹) in a plot that received no N

6-2005

Nitrogen Use Efficiency – State of the Art

Achim R. Dobermann

University of Nebraska-Lincoln, adobermann2@unl.edu

EXISTEM VÁRIOS CRITÉRIOS, PORÉM SUGIRO UTILIZAR AS VERSÕES SIMPLIFICADAS:

- **NUE: N USE EFFICIENCY**
- **NRE: N RECOVERY EFFICIENCY**
- **RNF: RESPONSE TO N FERTILIZATION**

DEFINIÇÕES

N USE EFFICIENCY (NUE): Produção obtida para uma determinada dose de N

$NUE = \text{Yield with N} / \text{N rate applied}$

Ex:

$100 \text{ t/ha} / 100 \text{ kg/ha N} = 1 \text{ t kg}^{-1} \text{ N}$

$12000 \text{ kg/ha} / 150 \text{ kg/ha N} = 80 \text{ kg kg}^{-1} \text{ N}$

DEFINIÇÕES

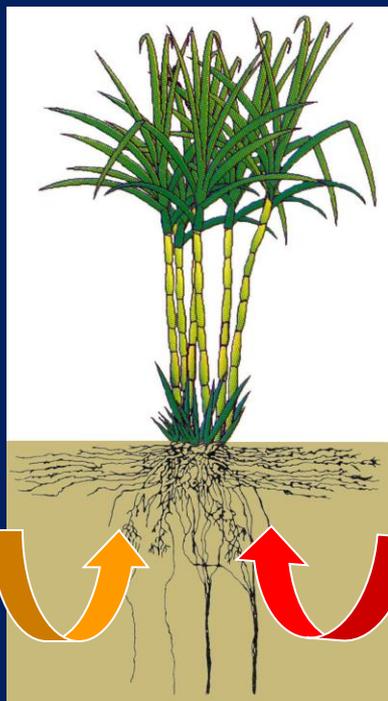
RECOVERY OF APPLIED N ou N RECOVERY EFFICIENCY (NRE): Recuperação pela planta de determinada dose de N

$$\text{NRE} = \text{NPDF} / \text{Dose de N} \times 100$$

NPDF = N na planta derivado do fertilizante

NORMALMENTE QUANTIFICADO EM EXPERIMENTOS UTILIZANDO A TÉCNICA DO TRAÇADOR ISOTÓPICO (^{15}N)

N-planta (c)
1,30% ^{15}N
98,70% ^{14}N



$$\text{NTP} = \text{NPPF} + \text{NPPS}$$

$$150 \text{ kg/ha} = 30 \text{ kg/ha} + 120 \text{ kg/ha}$$

N-solo (s)
0,37% ^{15}N
99,63% ^{14}N

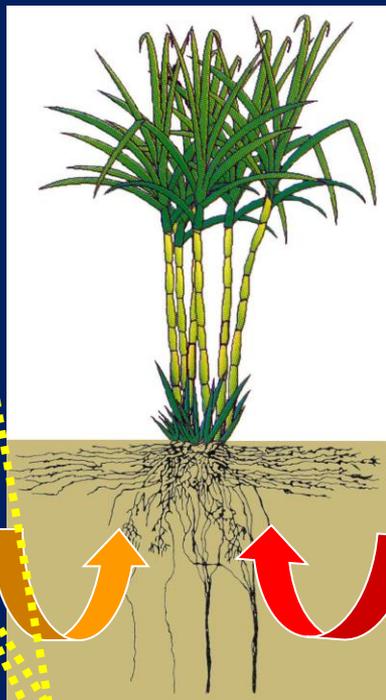
N-fertilizante (f): dose 60 kg/ha
5,00% ^{15}N
95,00% ^{14}N

NTP = Nitrogênio Total na Planta

NPPF = N na Planta Proveniente do Fertilizante

NPPS = Nitrogênio na Planta Proveniente do Solo

N-planta (c)
1,30% ^{15}N
98,70% ^{14}N



$$\text{NTP} = \text{NPPF} + \text{NPPS}$$

$$150 \text{ kg/ha} = 30 \text{ kg/ha} + 120 \text{ kg/ha}$$

N-solo (s)
0,37% ^{15}N
99,63% ^{14}N

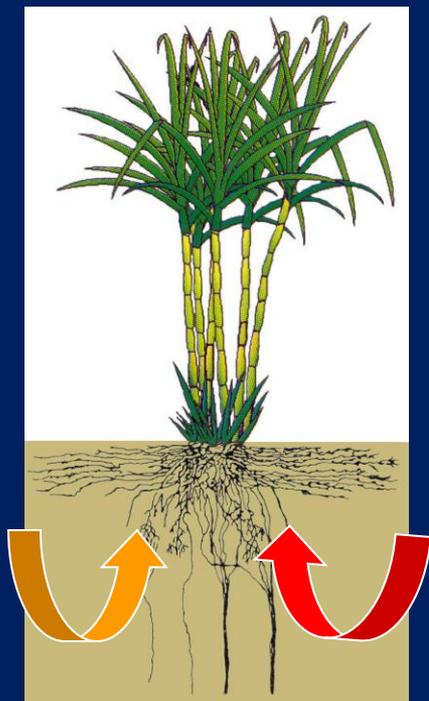
N-fertilizante (f): dose 60 kg/ha
5,00% ^{15}N
95,00% ^{14}N

Nitrogênio na Planta Proveniente do Fertilizante- ^{15}N (NPPF)

$$\text{NPPF} = \frac{(c - s)}{(f - s)} \quad \text{NTP} = \frac{(1,30 - 0,37)}{(5,00 - 0,37)} \quad 150 = 30 \text{ kg/ha}$$

c, f e s = abundância de ^{15}N na Planta, Fert.- ^{15}N e Solo

N-planta (c)
1,30% ¹⁵N
98,70% ¹⁴N



$$NTP = NPPF + NPPS$$

$$150 \text{ kg/ha} = 30 \text{ kg/ha} + 120 \text{ kg/ha}$$

N-solo (s)
0,37% ¹⁵N
99,63% ¹⁴N

N-fertilizante (f): dose 60 kg/ha
5,00% ¹⁵N
95,00% ¹⁴N

Nitrogênio na Planta Proveniente do Solo (NPPS)

$$NPPS = NTP - NPPF = 150 - 30 = 120 \text{ kg/ha}$$

% Recuperação na Planta do N-fertilizante

$$\% R = (NPPF/\text{dose de N-fertiliz.}) \cdot 100 = (30/60) \cdot 100 = 50 \%$$

DEFINIÇÕES

RESPOSTA À ADUBAÇÃO (%) = Aumento de produtividade promovido pela adubação nitrogenada

$$RA (\%) = \frac{\text{Produtividade com N} - \text{Produtividade sem N}}{\text{Produtividade sem N}} \times 100$$

Exemplo:

$$RA (\%) = \frac{15000 \text{ kg/ha} - 12000 \text{ kg/ha}}{12000 \text{ kg/ha}} \times 100 \rightarrow 25\%$$

MÉTODOS PARA AVALIAR A DINÂMICA DO NITROGÊNIO NO SOLO

Estimativa da mineralização do N do solo

- **Importância**
- **Métodos**

Published online December 2, 2005

Need for a Soil-Based Approach in Managing Nitrogen Fertilizers for Profitable Corn Production

R. L. Mulvaney,* S. A. Khan, and T. R. Ellsworth

ABSTRACT

Nitrogen fertilization for corn (*Zea mays* L.) production has relied extensively on yield-based recommendations that were developed to represent regional averages, yet are routinely applied to individual fields, on the assumption that fertilizer N serves as the major supply for crop N uptake. Using data from 102 on-farm N-response studies, an evaluation was conducted of the Illinois proven-yield (PY) method for accuracy and economic profitability on a site-by-site basis. As additional objectives, the Illinois soil N test (ISNT) was evaluated for detecting whether N fertilization was economical, and for quantifying crop response to N fertilization relative to soil and management factors. For 18% of the site-years studied, N recommendations by the PY method were accurate to within 20 kg ha⁻¹, whereas 13% were underfertilized by 25 to 129 kg ha⁻¹ (60 kg ha⁻¹ on average) at a current cost of \$5 to \$170 ha⁻¹ (\$75 ha⁻¹ on average), and 69% were overfertilized by 21 to 235 kg ha⁻¹ (103 kg ha⁻¹ on average) at a cost of \$12 to \$130 ha⁻¹ (\$57 ha⁻¹ on average). The latter group included

crop N uptake, which would necessarily imply that yield in the absence of applied N supplies a fixed proportion of crop N uptake that is substantially less than that from fertilizer. Yet unfertilized (check) plot yields in N-response studies often exceed the yield increase obtained with fertilization (Lory and Scharf, 2003), and in many of these studies, sites have been detected where corn is completely nonresponsive to fertilizer N (e.g., Bundy and Malone, 1988; Blackmer et al., 1989; Fox et al., 1989; Schmitt and Randall, 1994). Such sites have often been excluded in averaging response data to evaluate yield-based N recommendations (e.g., Vanotti and Bundy, 1994; Brown, 1996; Lory and Scharf, 2003; Nafziger et al., 2003), but even so, the recommended rates tend to be excessive. This was the case, for example, with 96% of 193 responsive site-years analyzed

Fracionamento do N orgânico do solo: método mais apropriado

DIVISION S-8—NUTRIENT MANAGEMENT & SOIL & PLANT ANALYSIS

Diffusion Methods to Determine Different Forms of Nitrogen in Soil Hydrolysates

R. L. Mulvaney* and S. A. Khan

ABSTRACT

Conventional steam-distillation techniques for fractionating the N in soil hydrolysates have generally indicated little variation in the chemical distribution of soil organic N, regardless of soil type, cropping, cultivation, or N-fertilization history. Nitrogen-15 tracer studies to evaluate these techniques showed that determinations of amino sugar-N are subject to serious underestimation, and that analyses for amino acid-N are vitiated by incomplete conversion of amino acid-N to $\text{NH}_4\text{-N}$ following incomplete removal of hydrolyzable NH_4 and amino sugar-N. Diffusion methods were developed for fractionating the N in soil hydrolysates that are far more accurate and specific than steam distillation, while also being much simpler and more convenient. In these methods, total hydrolyzable N is measured by Kjeldahl digestion of the hydrolysate and diffusion of the digest with NaOH; diffusion is performed with MgO to determine hydrolyzable $\text{NH}_4\text{-N}$; $(\text{NH}_4 + \text{amino sugar})\text{-N}$ is recovered by diffusion with NaOH, after which amino acid-N is liberated by ninhydrin oxidation at pH <1.8 and recovered by diffusion with NaOH. Analytical accuracy and specificity were evaluated using a wide variety of purified organic-N compounds and by checking the recovery of ^{15}N added to soil hydrolysates as $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, glucosamine, or glycine. Studies using a diverse set of soils showed that distillation and diffusion usually agreed to within 10% for quantitative analysis of total hydrolyzable N, $\text{NH}_4\text{-N}$, and amino acid-N, whereas analyses of amino sugar-N were 74 to 317% greater by diffusion than by distillation.

laboratory to compare the distribution of organic N in soils with and without a history of heavy manuring. Subsequent studies revealed that steam-distillation methods of determining $(\text{NH}_4 + \text{amino sugar})\text{-N}$ and amino acid-N are subject to serious error, so new methods were developed to fractionate the N in soil hydrolysates, utilizing Mason-jar diffusion methods described in previous publications for inorganic-N analysis of soil extracts and water (Khan et al., 1997; Mulvaney et al., 1997b) and total-N analysis of Kjeldahl digests (Stevens et al., 2000). The primary purpose of this article is to describe the diffusion methods that were developed to determine the following fractions for N-distribution analysis of soil hydrolysates: total hydrolyzable N, $\text{NH}_4\text{-N}$, $(\text{NH}_4 + \text{amino sugar})\text{-N}$, amino acid-N, and $(\text{NH}_4 + \text{amino sugar} + \text{amino acid})\text{-N}$. To ensure a high level of reliability, extensive recovery tests were conducted to identify critical variables, optimize reaction conditions, and establish minimal diffusion periods. The resulting methods were evaluated by specificity tests using a wide variety of purified organic-N compounds, from the recovery of ^{15}N added to soil hydrolysates as NH_4 , glucosamine, or glycine, and through comparison with N-distribution analyses by steam distillation.

Métodos para estimar a mineralização do N do solo (Griffin, 2008)

1. Campo:

- *In situ* incubation
- Crop N uptake

2. Laboratório:

- Extraction methods
- Soil N partitioning
- Biological methods

2.1 Extraction methods:

- CaCl_2 – extractable N
- NaHCO_3 – extractable N
- Hot KCl – extractable N
- Water soluble organic N
- KMnO_4 – oxidizable N

2.2 Soil N partitioning:

- Soil microbial biomass N
- Particulate of light-fraction SOM
- Amino sugar N

2.3 Biological methods:

- Anaerobic incubation
- Short-term C mineralization
- **Aerobic incubation**

***Often by the Stanford & Smith (1972) method for “Potential nitrogen mineralization in soils”**

Nitrogen Mineralization Potentials of Soils¹

GEORGE STANFORD AND S. J. SMITH²

ABSTRACT

Net mineralization of N in 39 widely differing soils was determined over a 30-week period at 35C, using incubation intervals of 2, 2, 4, 4, 4, 6, and 8 weeks. Mineral N was

comparisons of short- and long-term mineralization have been made, however, because of difficulties inherent in obtaining reliable measurements with extended periods of incubation.

SOIL SCI. SOC. AMER. PROC., VOL. 36, 1972

Protocol:

- Transfer soil + quartz to leaching tubes
- Leach sequentially the samples with 100 mL 0.01 M CaCl₂
- At 0, 2, 4, 8, 12, 16, 22 and 30 weeks
- Obtain the N mineralization potential (N₀):

$$\text{Log } (N_0 - N_t) = \log N_0 - k/2.303$$
$$(k = 0.0054 + 0.009)$$

Otto, R.; Mulvaney, R.L.; Khan, S.A.; Trivelin, P.C.O. Leaching methods to determine soil inorganic N underestimate net mineralization. ASA, SSSA, and CSSA Int. Conf., 2011.

MATERIAL AND METHODS

- **Experimental design: 2 methods x 2 treatments x 10 soils**
- **Analysis in triplicate**
- **Methods: Leaching vs extraction**
- **Treat.:** - unamended
- amended ($100 \text{ mg kg}^{-1} \text{ N as NH}_4^+ \text{ or NO}_3^-$)
- **Soils: 5 from US and 5 from Brazil**

Leaching method (Stanford & Smith, 1972)



(15 g)



(Soil)



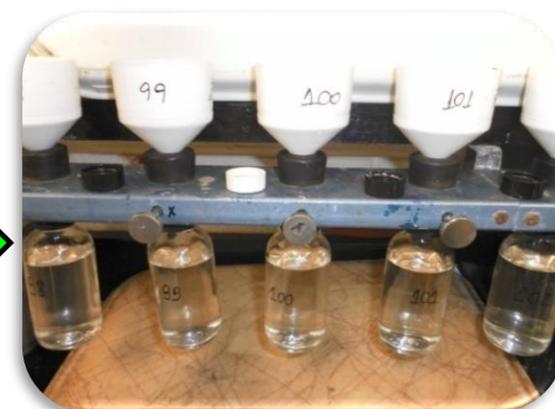
(soil + 15 g silica)



(funnel + quartz filter)



(100 mL 0.01 M CaCl_2)



(Leachates)

Extraction method (2 M KCl, Keeney & Bremner, 1966)



(5 g soil sample)



(50 mL 2 M KCl)



(1 h shaking)



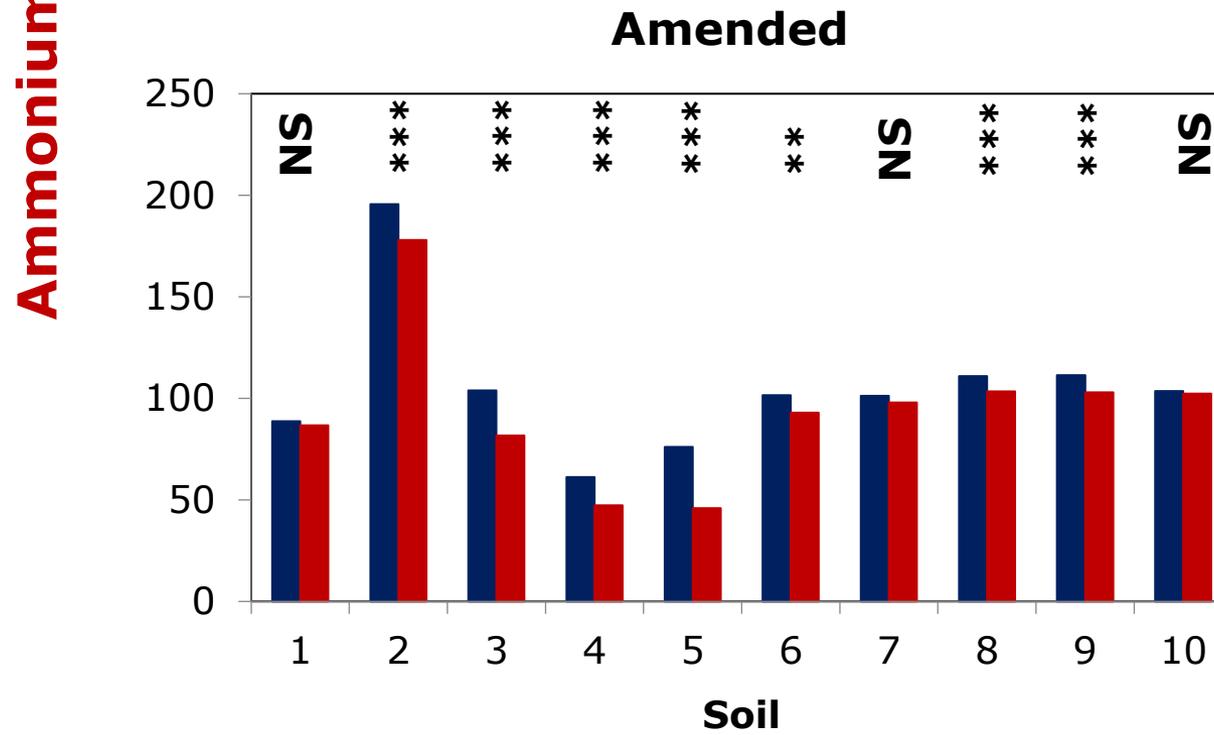
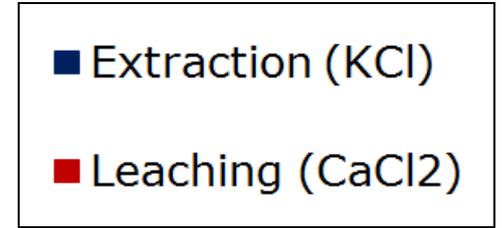
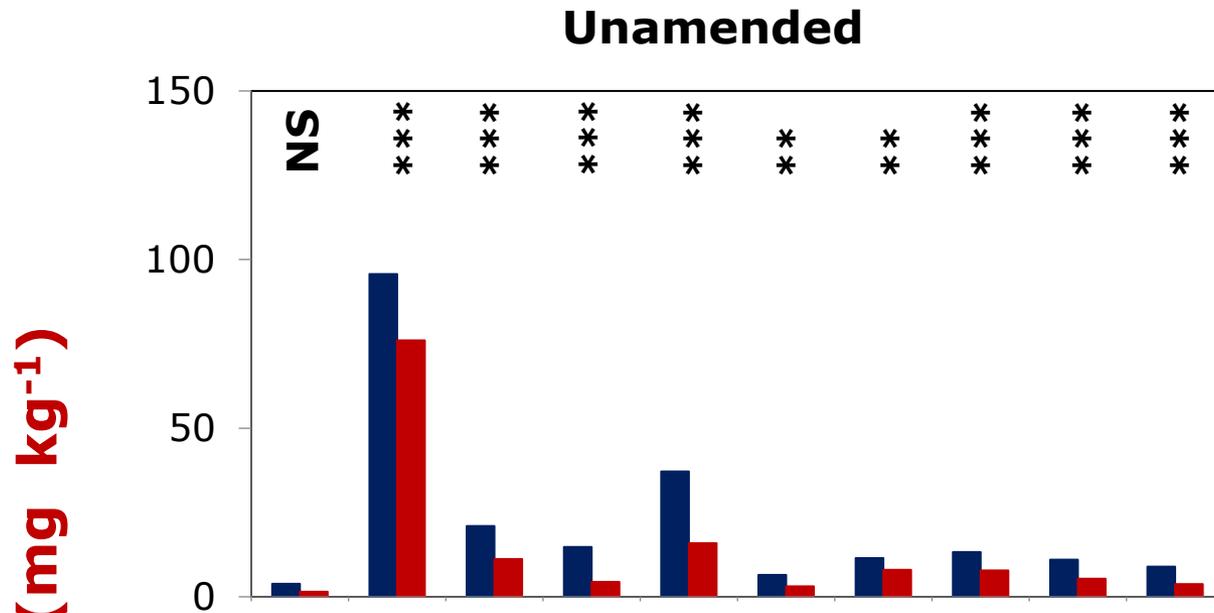
(funnel + quartz filter)



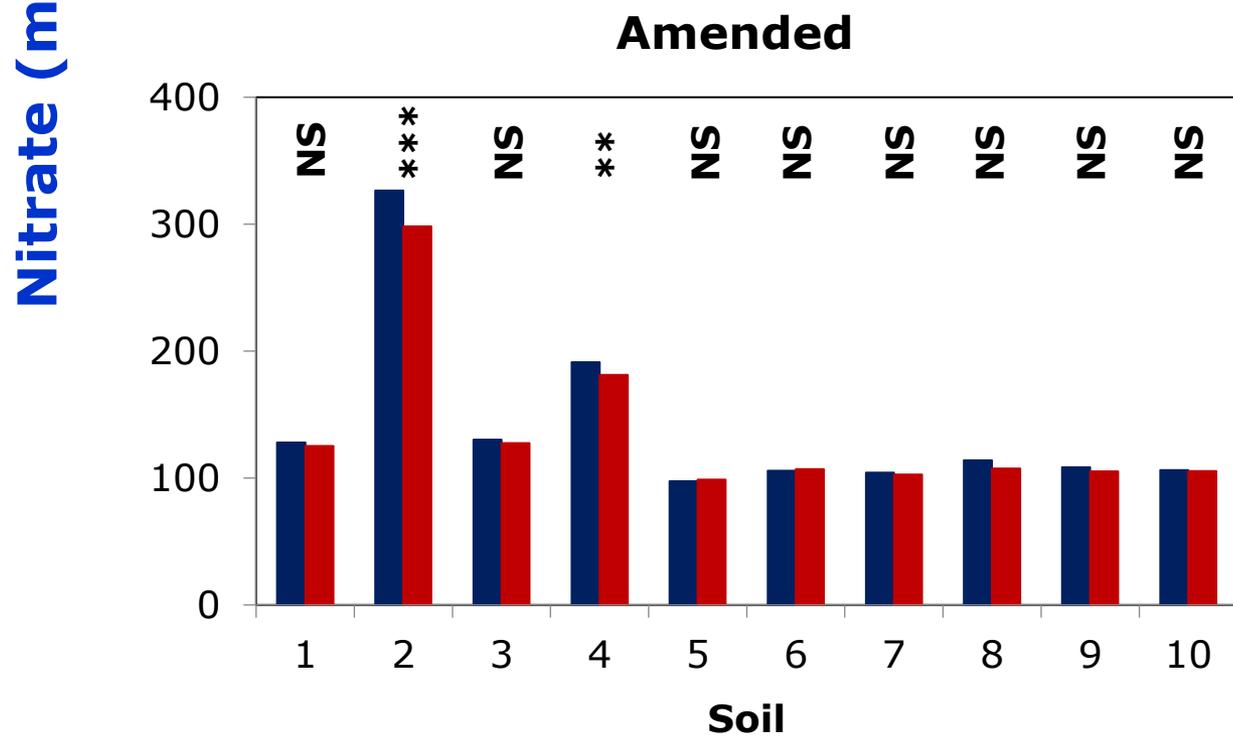
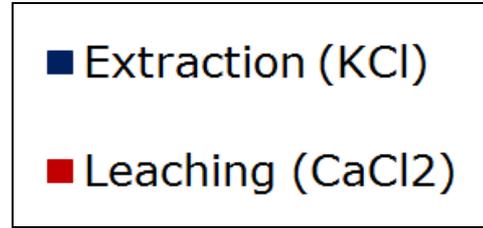
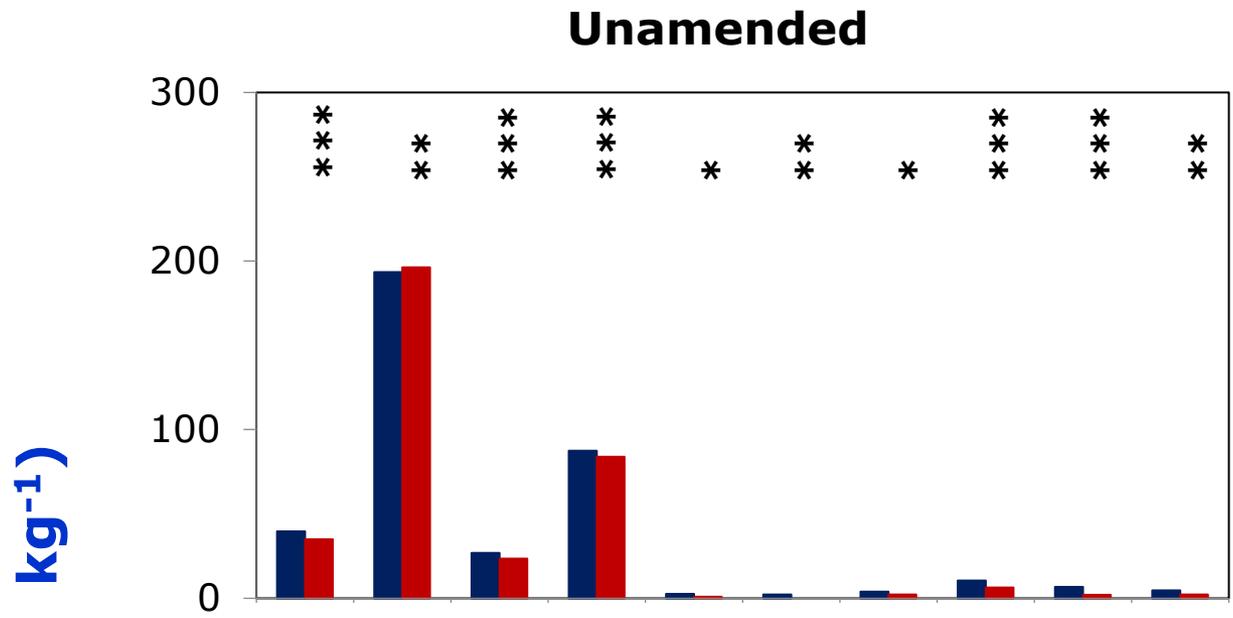
(Vacuum)



(Extracts)

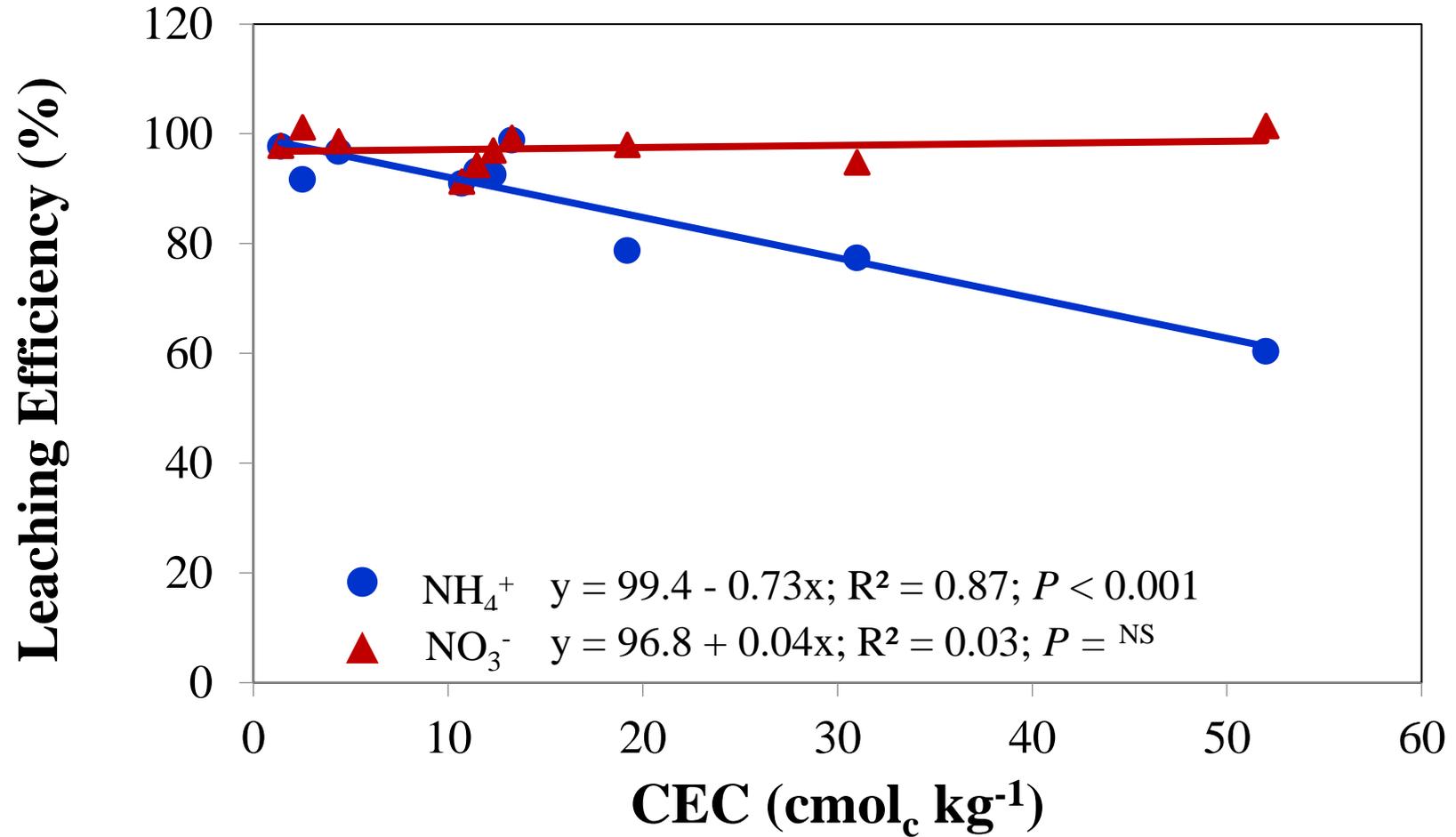


** ($P < 0.01$)
 *** ($P < 0.001$)
 NS non significant



* ($P < 0.05$)
 ** ($P < 0.01$)
 *** ($P < 0.001$)
 NS non significant

RESULTS



Fonte: Otto et al., 2011

Método padrão para estimar a mineralização em laboratório (Hart et al., 2004 – SSSA Text Book)

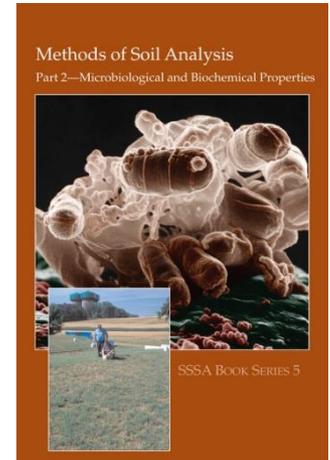
Incubação aeróbia

Temperatura constante (25 °C)

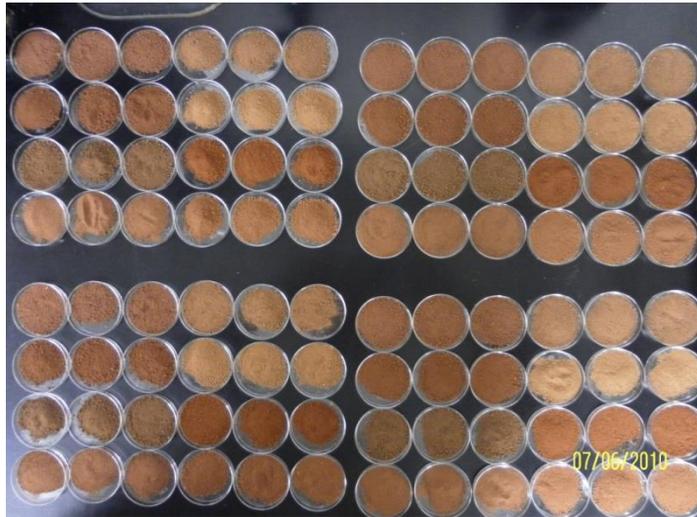
28 dias

Determinar concentração de N-NH_4^+ e $\text{N-NO}_3^- + \text{N-NO}_2^-$

- **No início**
- **No final da incubação**
- **Extração com KCL 2 M (solo-solução 1:5 ou 1:10)**

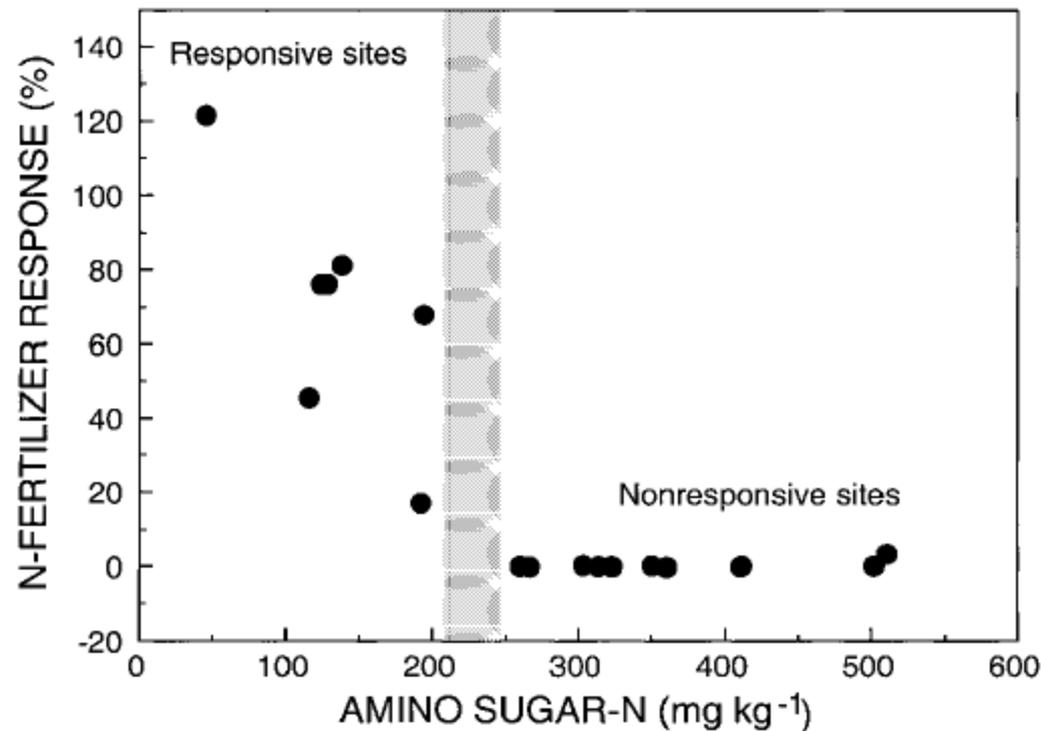


FRAÇÕES DO N ORGÂNICO DO SOLO



FRAÇÃO DE N ORGÂNICO DO SOLO

- Correlação com resposta do milho à adubação nitrogenada
- Estados Unidos (Corn Belt)



Fonte: Mulvaney et al. (2001)

Quantifying soil nitrogen mineralization to improve fertilizer nitrogen management of sugarcane

R. Otto · R. L. Mulvaney · S. A. Khan · P. C. O. Trivelin

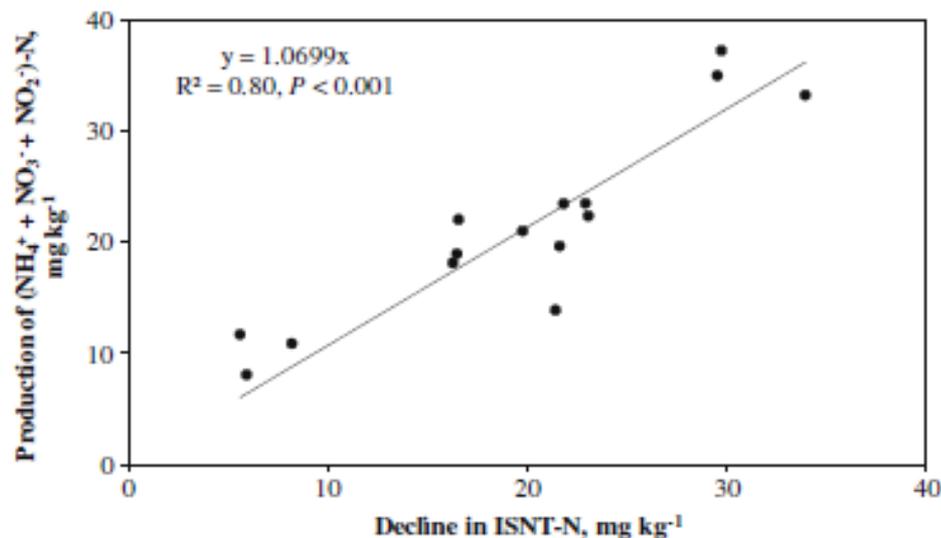
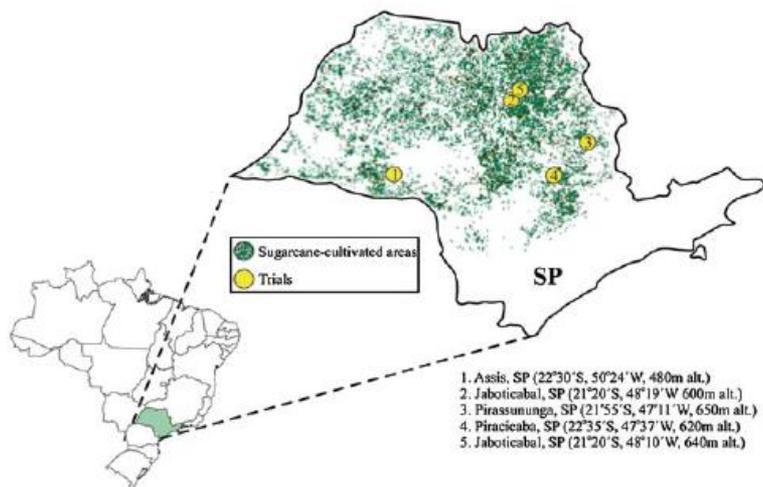


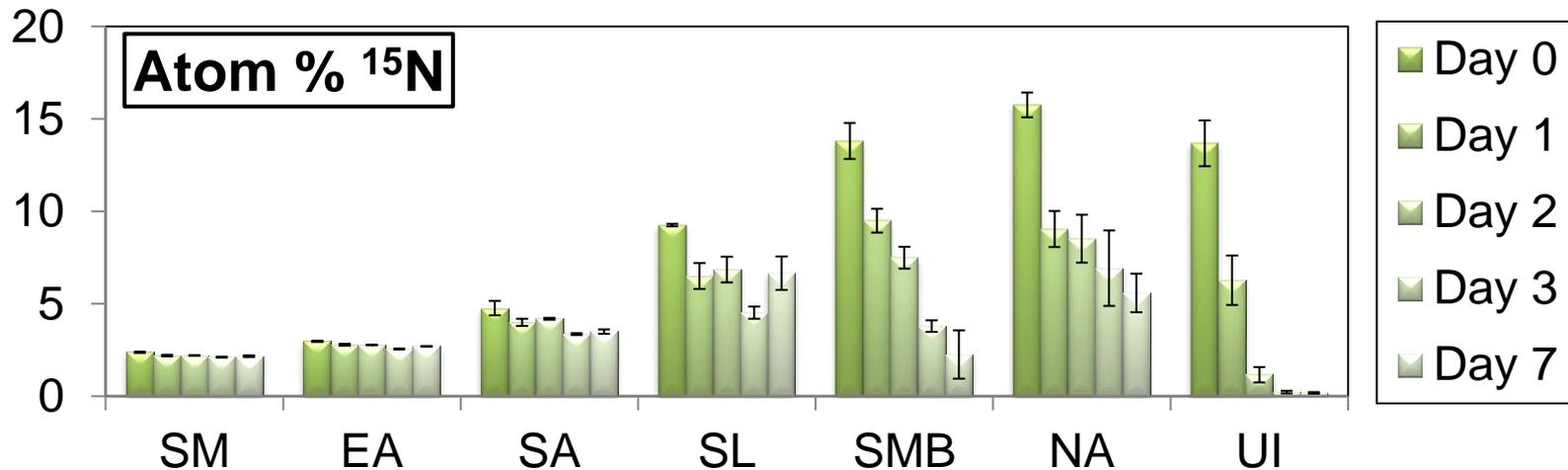
Fig. 2 Relationship between the magnitude of decline in the fraction of organic N determined by the Illinois Soil Nitrogen Test (ISNT) and inorganic N production following a 12-week aerobic incubation of the soils studied

RELAÇÃO ISNT E RESPOSTA DA CANA-DE-AÇÚCAR À ADUBAÇÃO NITROGENADA

Site no.	Sampling depth (cm)	ISNT ^a (mgN kg ⁻¹)		DSD ^a (mgN kg ⁻¹)	
		Mean	SD	Mean	SD
<u>Highly responsive site</u>					
1	0–20	57	6.0	51	4.5
	20–40	49	3.2	46	3.7
<u>Moderately responsive sites</u>					
2	0–30	85	6.3	78	3.4
	30–60	67	5.6	63	4.7
3	0–30	77	7.1	70	5.9
	30–60	62	4.2	55	6.7
<u>Nonresponsive sites</u>					
4	0–20	175	9.2	160	7.7
	20–40	146	10.3	132	11.6
5	0–20	209	5.5	193	12.9
	20–40	174	10.1	163	17.6

Fonte: Otto et al (2013)

Mineralização bruta e resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada



Sites	<i>GM</i>	Check plot yield	Fertilizer response
	— mg N kg ⁻¹ d ⁻¹ —	———— % ————	
SM	0.6	91.8	8.9
NA	0.7	76.8	30.2
EA	1.1	81.0	24.0
SA	1.5	93.6	6.8
SL	1.6	91.2	9.7
SMB	2.4	96.5	0.0
UI	3.6	100.0	0.0

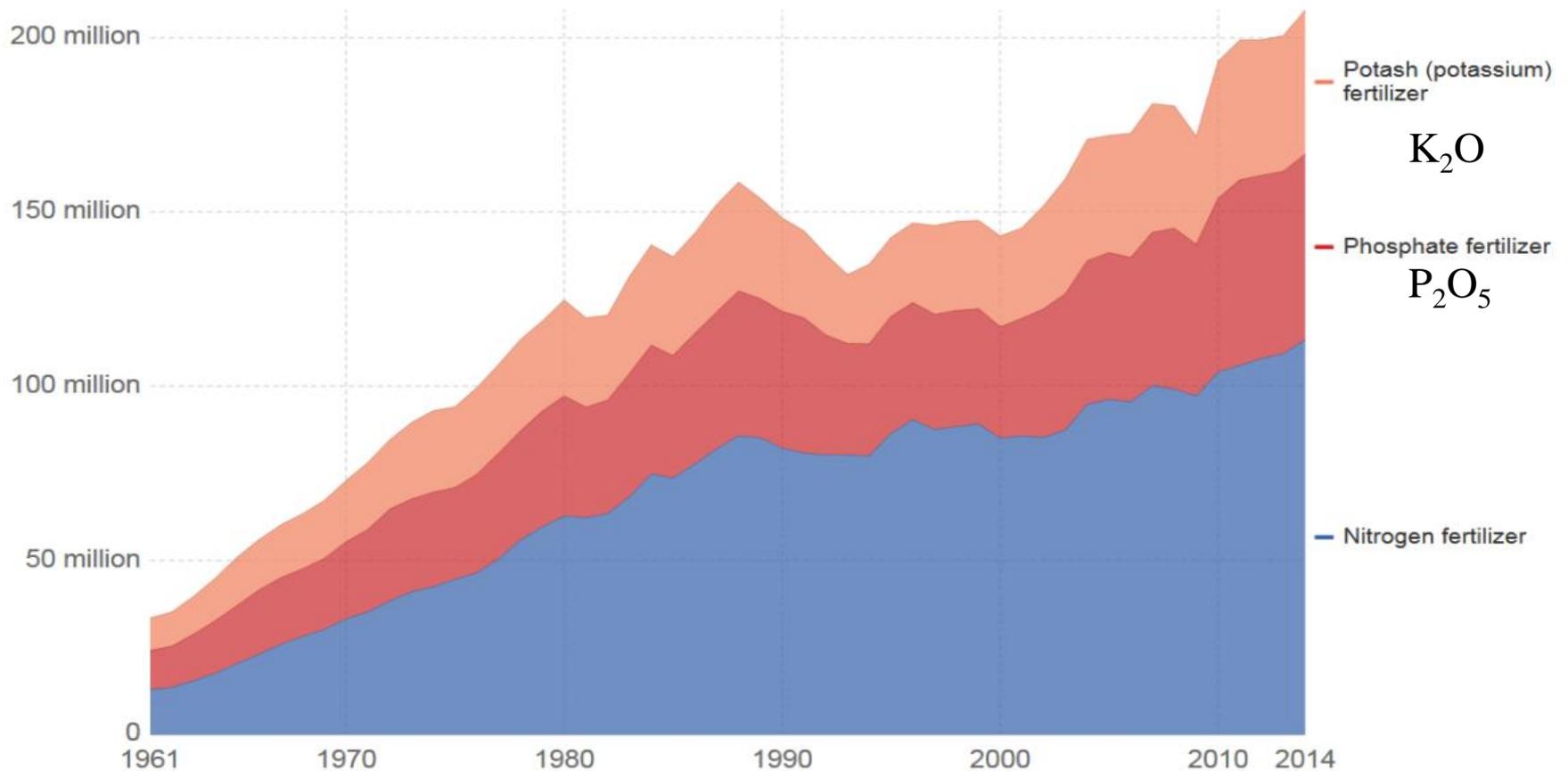
Fonte: Otto et al (2012)

2. PRODUÇÃO E CONSUMO

Total fertilizer production by nutrient, tonnes, World

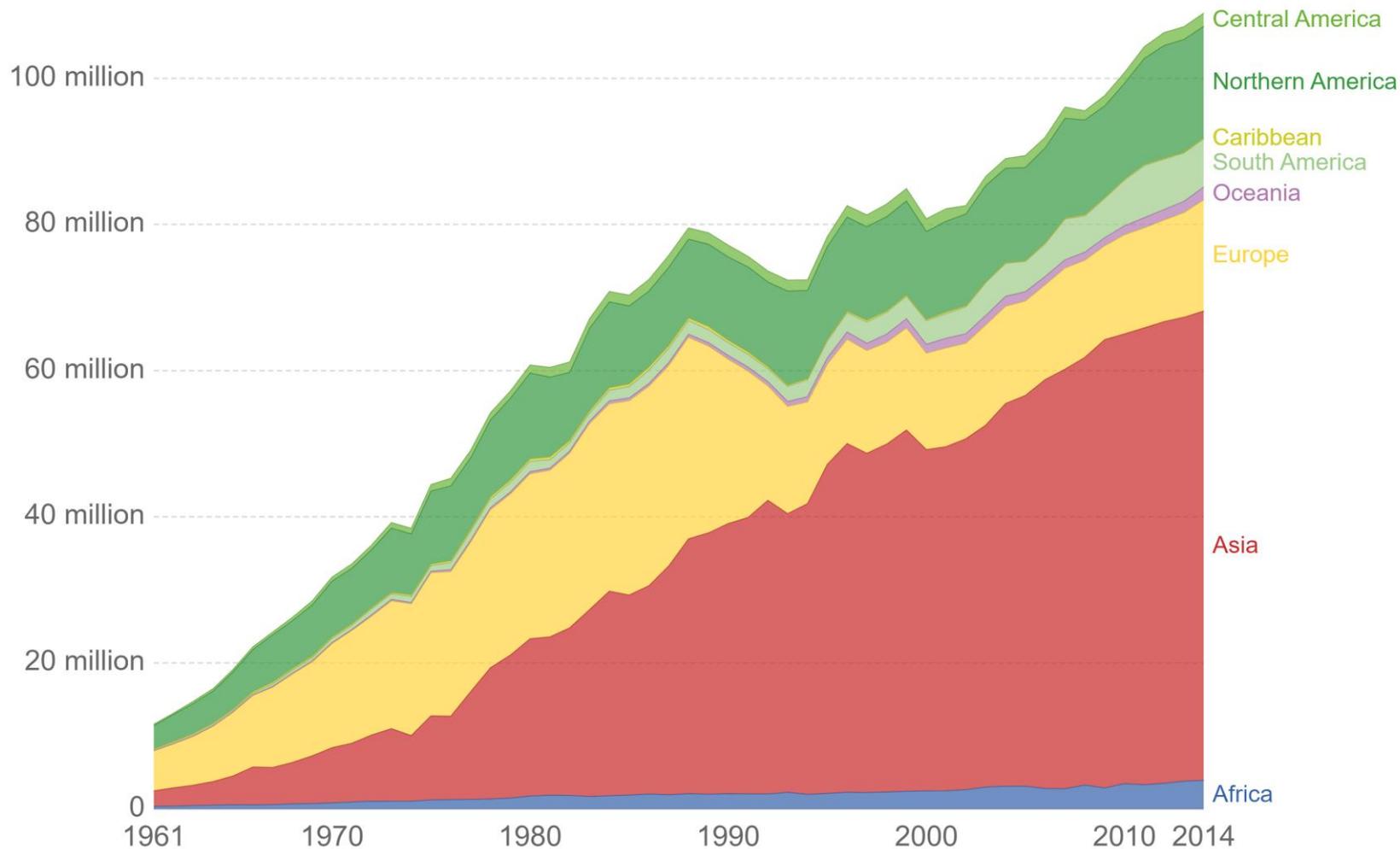
Total fertilizer production by nutrient type (nitrogen, phosphate and potash/potassium), measured in tonnes per year.

Our World
in Data

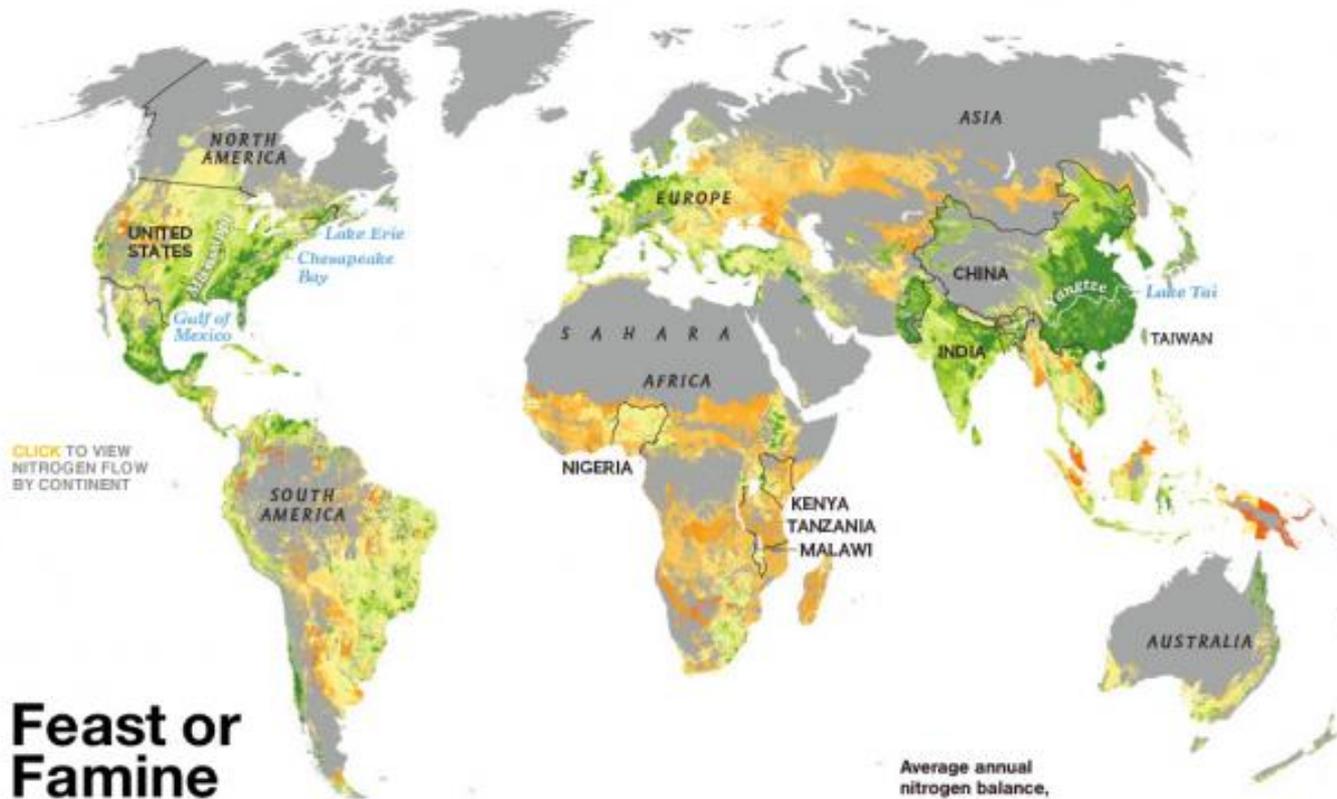


Nitrogen fertilizer consumption, tonnes

Total nitrogenous fertilizer consumption, measured in tonnes of total nutrient per year.



World map of average annual nitrogen balance (pounds per acre) – National Geographic (2013)



CLICK TO VIEW NITROGEN FLOW BY CONTINENT

Feast or Famine

Nearly half the people on the planet wouldn't be alive if not for the abundant food made possible by nitrogen fertilizer. Yet its benefits have not reached everyone. In sub-Saharan Africa, where 239 million people go hungry in a year, crops fail as soil is stripped of nutrients, and farmers can't afford to buy fertilizer. Elsewhere overuse pollutes waterways and releases greenhouse gases.

JEROME N. COOKSON AND LAWSON PARKER, NGM STAFF
SOURCE: PAUL C. WEST, INSTITUTE ON THE ENVIRONMENT, UNIVERSITY OF MINNESOTA

Average annual nitrogen balance, pounds per acre

Deficiency Excess

-200 0 220

Little or no cropland

Zero means the crop used exactly the amount of nitrogen applied. The ideal range varies due to local conditions.

SÍNTESE DE NH₃



- 1909 – Alemanha
- **Idealizador: Fritz Haber**
- Larga escala: Carl Bosch (BASF)
- **Primeira Guerra Mundial**
- Produção de explosivos (Nitrato de Sódio-Chile)
- **Prêmio Nobel: Haber (1920) e Bosch (1931)**



Early NH₃ plant at Oppau, Germany (1913)



Source: Smil (2001)

SÍNTESE DE NH₃



1909

* Museu de Berlim



1921

* BASF



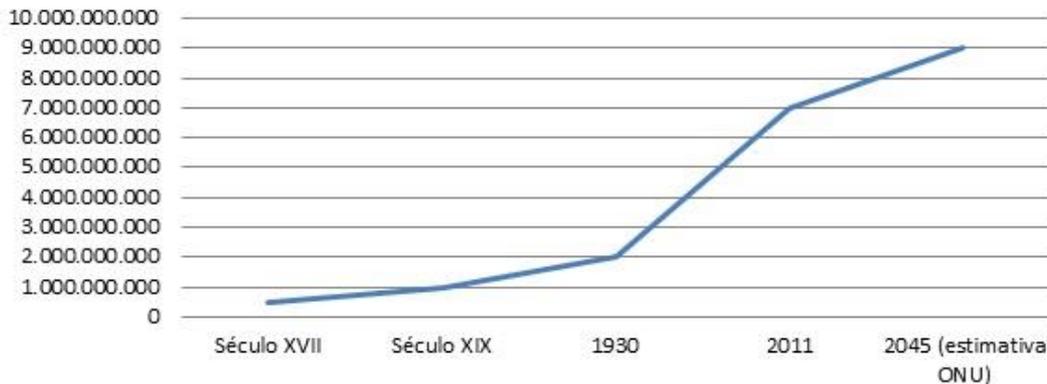
2000

*Planta industrial em
Trinidad

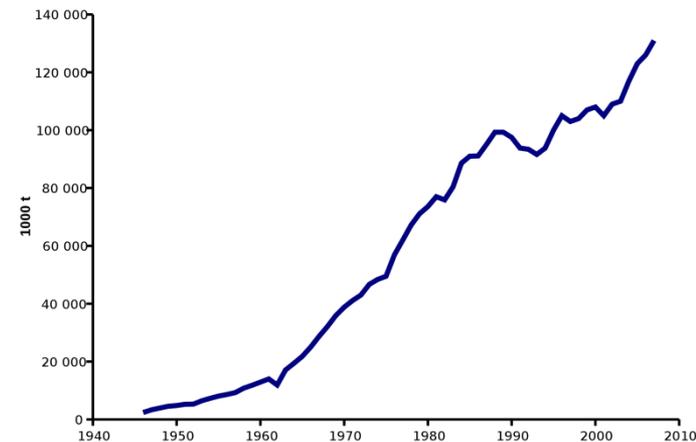
“A síntese industrial de amônia a partir do N_2 e H foi mais importante do que a invenção do avião, da energia nuclear, dos vôos espaciais e da televisão. A expansão da população mundial de 1,6 bilhões para os atuais 6 bilhões de pessoas não seria possível sem a síntese de amônia”

Fonte: Smil (2001) – Enriquecendo a terra

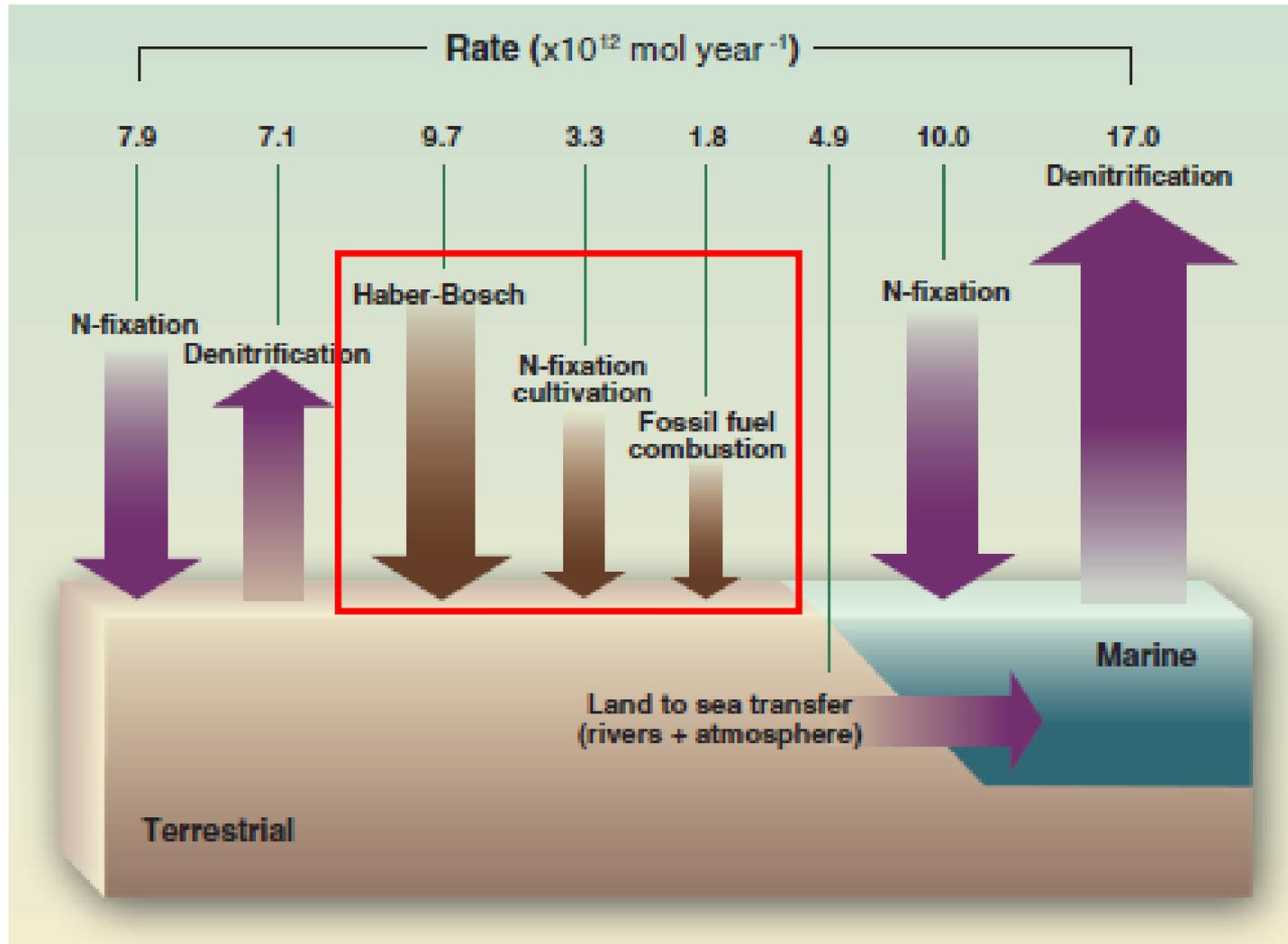
Evolução da população mundial (século XVII - século XXI)



Produção de amônia



O CICLO DO N NA TERRA



Fonte: Canfield et al. (2010)

FERTILIZANTES SINTÉTICOS

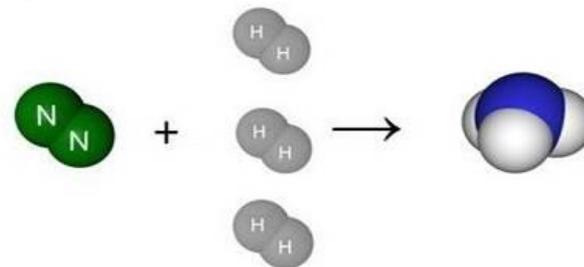
“A sustentabilidade a longo prazo requer uma diversificação na agricultura, envolvendo uma transição gradual do uso de fertilizantes sintéticos para rotações com leguminosas”

Mulvaney et al. (2009)

“A longo prazo somente a adubação orgânica ou o uso conjunto de fertilizantes orgânicos e sintéticos mostrou-se sustentável para manutenção do estoque de C do solo”

Ladha et al. (2011)

Obtenção de N



c) Fontes de H₂

Aumento
de Custo



H₂

Gás natural

Gás residual

Nafta

Resíduo asfáltico

Carvão Mineral

Álcool

Hidrólise da água

Petróleo

Unidades produtoras de fertilizantes nitrogenados



Unidades produtoras/ Fontes de H₂

a) Petrobrás

a) Camaçari-BA: Gás Natural

b) Laranjeiras-SE: Gás Natural

c) Araucaria-PR: Resíduo Asfáltico

b) ~~Vale~~ Yara Fertilizantes

a) Piaçaguera-SP: Nafta

b) Cubatão-SP: Gás Residual



The image shows a screenshot of a news article from Valor Econômico. The article is dated 17/11/2017 at 20h02 and is titled 'Yara compra ativos de fertilizantes da Vale por US\$ 255 milhões'. The author is Kauanna Navarro. The article text states that the Norwegian multinational Yara announced the acquisition of Vale's remaining assets in the fertilizer area, including nitrogen and phosphate fertilizers located in Cubatão (SP). The transaction value is US\$ 255 million, which is 60% below market estimates. Yara is noted as the largest fertilizer blender (final products manufacturer) in the region.

Valor ECONÔMICO

Home | Brasil | Política | Finanças | Empresas | Agronegócios | Internacional | Op

Logística | Mercados | Agroindústria | Políticas | Sustentabilidade

17/11/2017 às 20h02

Yara compra ativos de fertilizantes da Vale por US\$ 255 milhões

Por Kauanna Navarro | Valor

SÃO PAULO - (Atualizada às 16h55) A multinacional norueguesa Yara anunciou a aquisição dos ativos remanescentes da Vale na área de fertilizantes. A transação, que inclui ativos de adubos nitrogenados e fosfatados localizados em Cubatão (SP) foi anunciada por US\$ 255 milhões, cerca de 60% abaixo das estimativas de mercado. A Yara já é a maior misturadora de adubos (fabricante de produtos finais) do

PROJETOS UTILIZANTES DE UREIA PETROBRÁS

- 1) FAFEN-BA (Linha 1) (Linha 1) (Linha 1) → 1.056.000 t ureia
- 2) FAFEN-SE (Linha 2) (Linha 2) (Linha 2) → 225.000 t NH₃

NOVAS UNIDADES

- 3) UFN III (Três Linhas) (Três Linhas) (Três Linhas) → 1.210.000 t ureia 2014
 81.000 t NH₃
- 4) UFN IV (Linha 4) (Linha 4) (Linha 4) → 65.000 t uréia 2015
- 5) UFN V (UFN V) (UFN V) (UFN V) → 1.000 t NH₃ 2014
- 6) Expansão UFN/SE (UFN/SE) (UFN/SE) (UFN/SE) → Amônio 2013

Importação Ureia (2010): 2.500.000 t

Fatos e Dados



Fábricas de fertilizantes da Bahia e de Sergipe serão hibernadas

20.Mar.2018

 Recomendar 54

 Tweeter

 Compartilhar

Até o final do primeiro semestre deste ano, as fábricas de fertilizantes nitrogenados da Bahia (Fafen-BA), localizada no polo petroquímico de Camaçari, e de Sergipe (Fafen-SE), na cidade de Laranjeiras serão hibernadas. A iniciativa faz parte do processo de saída integral da produção de fertilizantes, conforme anunciado pela companhia em setembro de 2016.

A medida é parte do nosso esforço para focar os investimentos em ativos que tenham menor risco e tragam mais retorno para a Petrobras. A hibernação consiste na parada de produção de unidade industrial, com a adoção de medidas de conservação dos equipamentos.

A decisão de encerrar as atividades produtivas das unidades se deve às perspectivas de perdas da companhia com estas operações. Em 2017, a Fafen-BA apresentou resultado negativo de cerca de R\$ 200 milhões. A Fafen-SE apresentou resultado negativo de cerca de R\$ 600 milhões no último ano.

Ao longo dos últimos anos, implementamos diversas ações para otimização de



Operação Lava Jato

Visitas

33.875.309

Categorias

- Institucional
- Atividades
- Tecnologia e Inovação
- Sociedade e Meio Ambiente
- Produtos e Serviços
- Postos Petrobras
- Esclarecimentos
- Reconhecimento
- Respostas à imprensa
- Comunicados sobre greve
- Petrobras na CPI

09/04/2018 às 05h00 3

Faltam interessados em adquirir as plantas de fertilizantes da Petrobras

Por Kauanna Navarro | De São Paulo



Diferentemente do que aconteceu com os ativos da Vale Fertilizantes, não deverá haver disputa pelas fábricas da Petrobras no segmento. Segundo especialistas, faltam interessados nas unidades, voltadas à produção de nutrientes derivados do nitrogênio, e, se a estatal quiser de fato vendê-los, terá de oferecer "um negócio da China". São três plantas em operação, localizadas no Paraná, na Bahia e em Sergipe e avaliadas no mercado em quase US\$ 1,5 bilhão, e uma em construção em Mato Grosso do Sul, que custa US\$ 700 milhões.

A falta de interessados em levar os ativos tem relação com problemas operacionais e políticos. O fato é que, mesmo com poucos ativos de produção disponíveis no mercado, não haverá uma "disputa" entre grandes players pelas fábricas. É quase consenso que a norueguesa Yara, uma das maiores empresas de fertilizantes do mundo e líder no ranking brasileiro, com cerca de 25% de participação em vendas de produtos finais, é a favorita para ficar com pelo menos uma das quatro unidades. Globalmente, a produção de nitrogenados é o maior negócio da multinacional.

Fertilizantes no Brasil

E a Yara já demonstrou interesse pelos ativos.

À venda

Fábricas da Petrobras que hibernarão

Localização das unidades:



Funcionários

700

Capacidade de produção conjunta

36,3 mil toneladas de ácido nítrico

1 milhão de toneladas de amônia

1,1 milhão de toneladas de ureia

Fonte: Abiquim

Segundo avaliação de Macaúbas, os ativos nitrogenados da Petrobras em Araucária valem cerca de US\$ 350 milhões, os de Laranjeiras US\$ 600 milhões e os de Camaçari, aproximadamente US\$ 500 milhões. Os ativos em construção em Três Lagoas (MS) estão avaliados em cerca de US\$ 700 milhões. "Acho bem difícil as plantas serem vendidas por esses valores"



MATO GROSSO DO SUL

ESPECIAIS

GOVERNO

AGENDA

MÍDIA

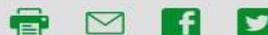
NOTÍCIAS

CONTATOS

DIÁRIO OFICIAL

LEGISLAÇÃO

Petrobras avança na venda da UFN3 e Governo comemora previsão de retomada das obras



Marcelo Armôa

09/maio/2018 4:04 pm

Categorias: Gestão Pública, Governo, Investimento

Fonte: Portal do Governo de Mato Grosso do Sul

251 visualizações

Campo Grande (MS) – A Petrobras avançou no processo de venda da UFN3 (Unidade de Fertilizantes Nitrogenados), em Três Lagoas. Em comunicado de Fato Relevante divulgado nesta quarta-feira (9.5), a estatal anunciou o início das negociações, em regime de Concessão de Exclusividade, com a empresa Acron, da Rússia, por um período de 90 dias, referente ao processo de alienação integral de sua participação acionária na UFN3.

No comunicado, a Petrobras informa que a Acron é uma empresa Russa com foco na produção e comercialização de fertilizantes, com vendas em mais de 60 países. Em 2017, o volume de vendas atingiu mais de 7,3 milhões de toneladas, com receitas consolidadas de US\$ 1,6 bilhão e EBITDA de US\$ 511 milhões de acordo com o International Financial Reporting Standards (IFRS). A Acron é uma sociedade

Últimas Notícias

18 junho 2018

Obra com recursos do fundo de apoio à indústria em Paranaíba dá mais competitividade à região

18 junho 2018

Batalhão de Trânsito intensifica fiscalizações e apresenta redução de 10,4% nos números de acidentes na Capital

18 junho 2018

Mato Grosso do Sul bate recorde na contratação do FCO em cinco meses de 2018

18 junho 2018

Sol predomina e temperaturas continuam amenas em MS

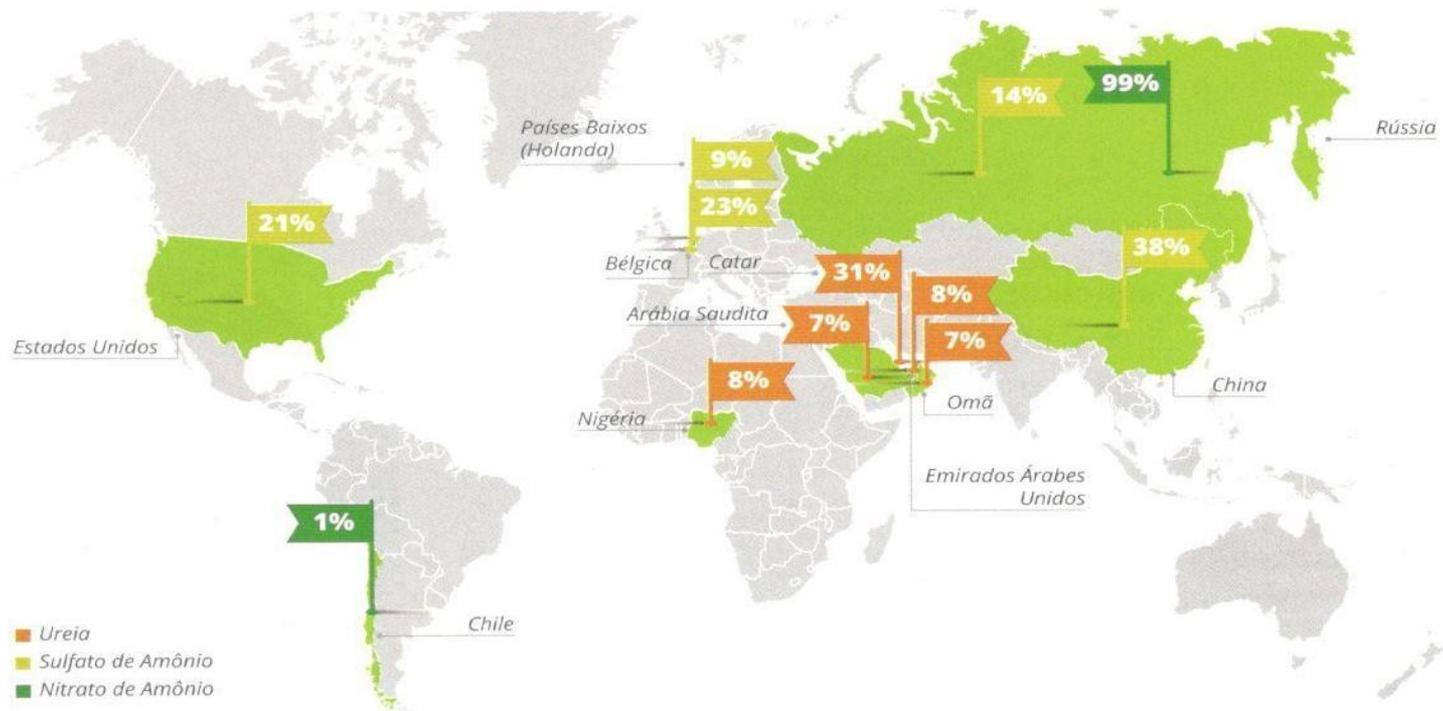
17 junho 2018

Na posse da diretoria da Umam, Reinaldo Azambuja destaca a união para vencer as dificuldades

17 junho 2018

Ensino em Tempo Integral é destaque na FF Waldemir Barros da Silva

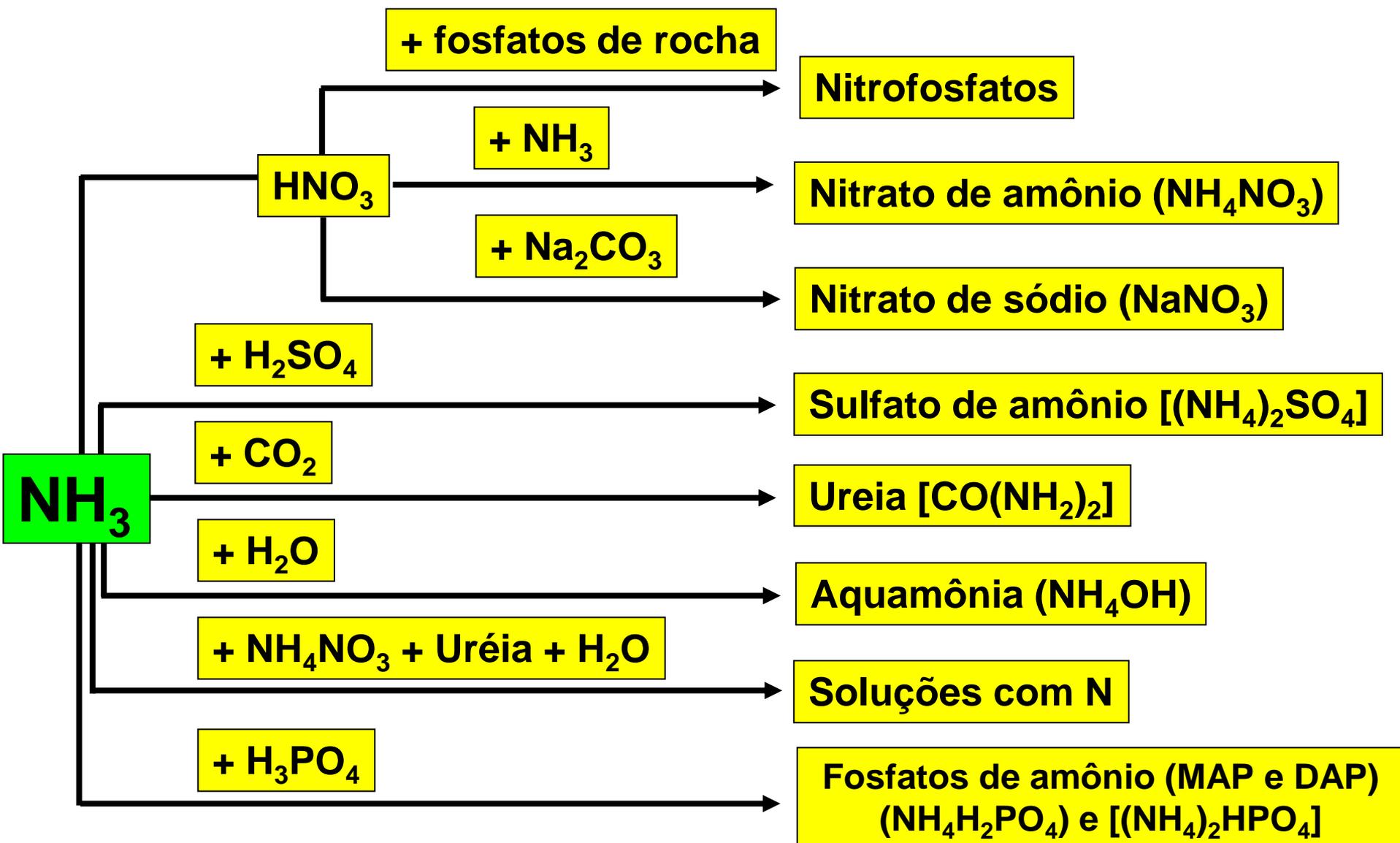
Países de origem das importação de fertilizantes nitrogenados



Mapa: Principais países de origem das importações de Fertilizantes Nitrogenados em 2017.
Fonte: Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio (MDIC). Elaboração: GlobalFert.
Outros representa: Ureia: 25% | Sulfato: 10%

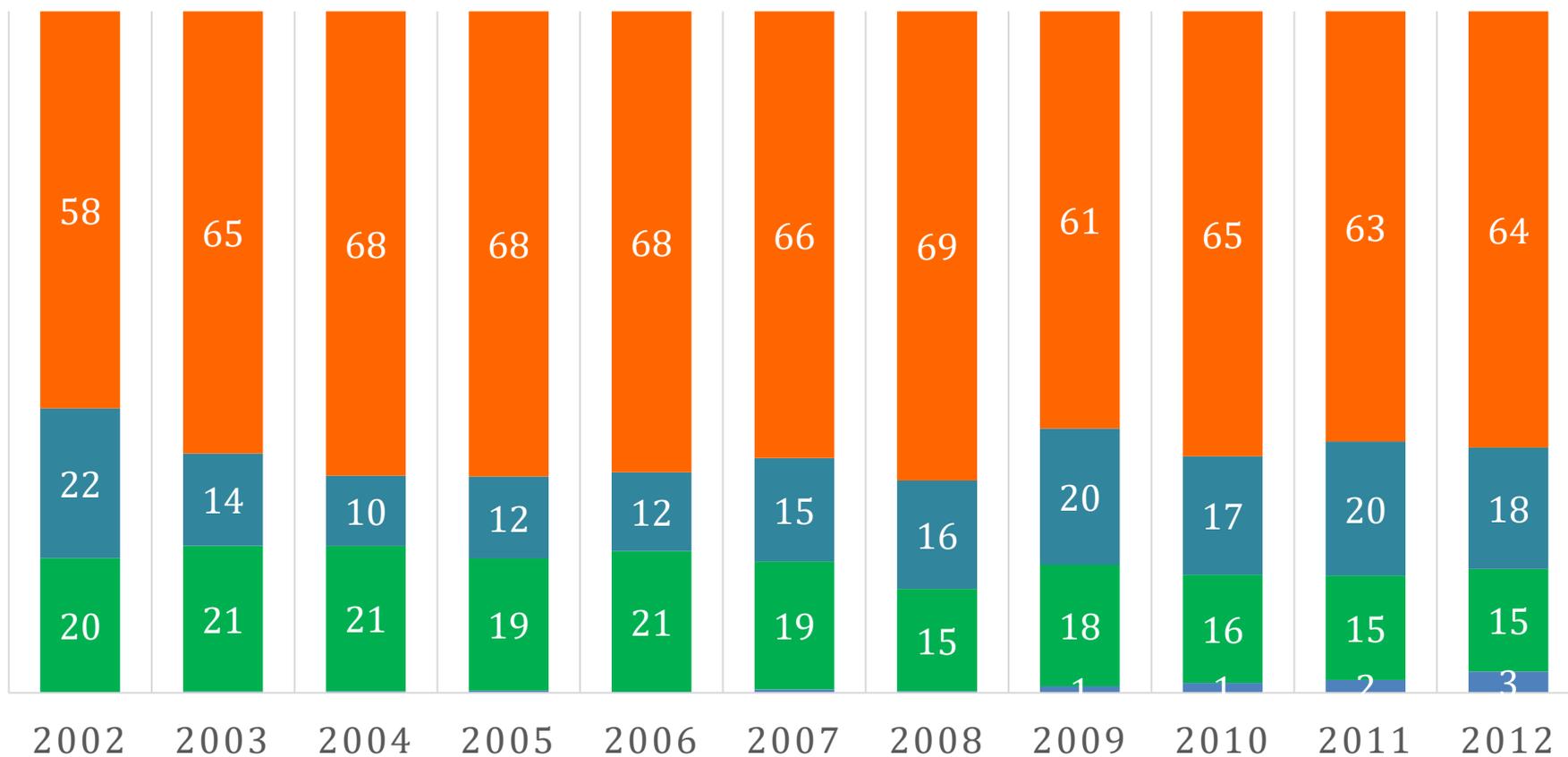
**Fonte: Anuário
ABISOLO, 2018**

Fontes de N a partir da NH_3



Consumo de fertilizantes nitrogenados no Brasil (% do total)

■ CAN ■ Nitrato de Amônio ■ Sulfato de Amônio ■ Ureia



Fonte: IFA, 2013

Fontes alternativas de N

Estercos de animais

- Cama de Frango;
- Esterco de poedeira
- Esterco de confinamento
- Dejeito de suínos
- Esterco bovino
- Subproduto de indústria (Ex. Ajifer)

Fontes alternativas de N

Estercos de animais

Cama de frango:

- Tipo da cama: casca de arroz; casca de amendoim; maravalha de madeira; resto de capineira .
- Número de engordas, ou seja, quantos lotes passaram pela cama.
- Retirada da cama e presença de restos animais, penas etc...

Teores médios de nutrientes presentes na cama de frango (%).

N	P ₂ O ₅ Total	K ₂ O	Ca	Mg	S	C/N	M.O.	Umidade
2,63	2,24	2,57	6,17	0,53	0,34	10,91	66,01	21,73

Fontes alternativas de N

Estercos de animais

Teores médios de nutrientes presentes no esterco de galinha poedeira (%)

ESTERCO DE GALINHA	N	P ₂ O ₅ Total	K ₂ O	Ca	Mg	S	C/N	MO	Umidade
MÉDIA GERAL	3,76	3,31	3,01	9,91	0,67	0,33	8,50	60,70	35,45

Fontes alternativas de N

Estercos de animais

Teores médios de nutrientes presentes no esterco advindo de bovinos em confinamento.

Materiais Orgânicos	C/N	Umidade	C	N	P	K	Ca
g kg ⁻¹							
Esterco bovino fresco	20	620	100	5	2,6	6	2
Esterco bovino curtido	21	340	320	15	12	21	20

	Mg	S	Zn	Cu	Cd	Ni	Pb
mg kg ⁻¹							
Esterco bovino fresco	1	1	33	6	0	2	2
Esterco bovino curtido	6	2	217	25	0	2	1

Fontes alternativas de N

Estercos de animais

Resultados alternativos dos dejetos de suínos e fornecimento de nutrientes para dose de $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$

MS	d	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
%	kg/m ³	kg/m ³		
A - 1,17	1,008	1,60	1,14	1,00
B - 1,63	1,010	1,91	1,45	1,13
C - 2,09	1,012	2,21	1,75	1,25

Dose	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
m ³ /ha	kg/ha		
A - 50	80	57	50
B - 50	96	73	57
C - 50	111	88	63

Sub-produtos de indústria

Caracterização do Ajifer quanto a N e S

Origem	Produtos	N	S
		g/kg	g/kg
Valparaíso	Ajifer L40 (*)	40	40-70
	Ajifer L1419(*)	14	20-40
Laranjal Paulista	Ajifer NKS 2	20	20
	Ajifer NKS 3	25	20
	Ajifer NKS 5	40	30
	Ajifer NKS 7	60	50
Limeira	Ajifer 7	60	.
	Ajifer 8	75	.
Pederneiras	Ajifer 4(*)	40	20

(**) d=1,1 pH=4,5-5,0 C=3%

3. MANEJO DA ADUBAÇÃO

3.1 Doses de N

3.2 Época de aplicação

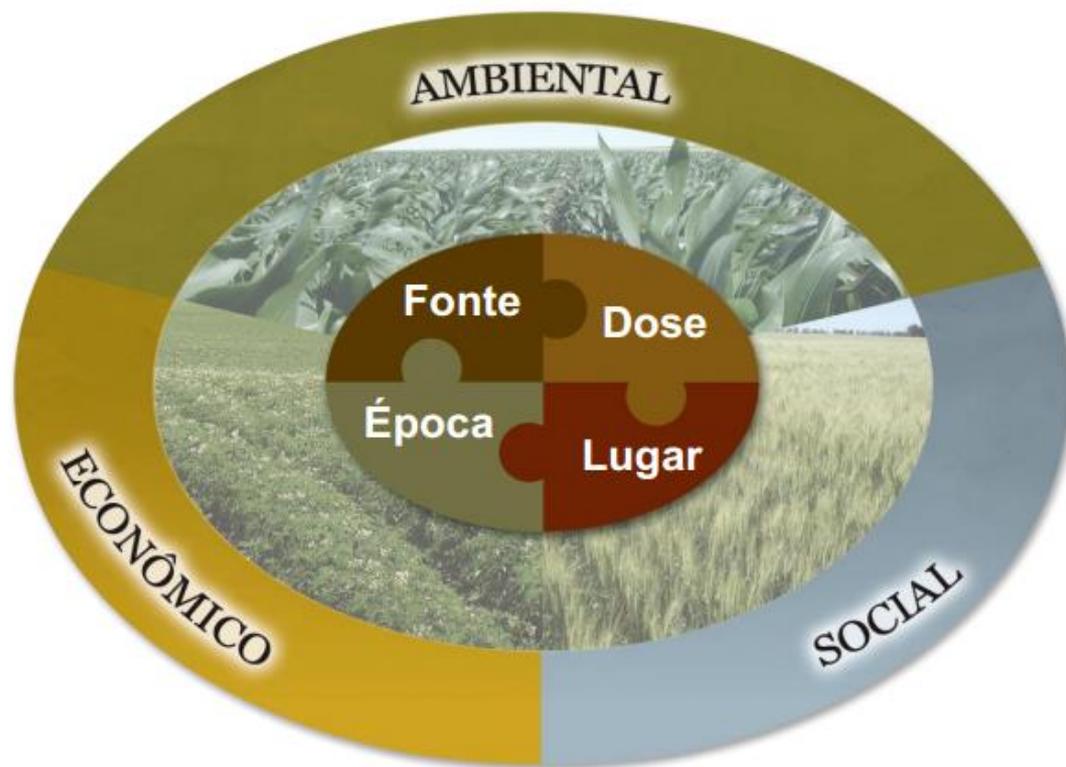
3.3 Fontes de N

3.4 Modo de aplicação



Conceito 4C de Nutrição de Plantas

- **FONTE CERTA, DOSE CERTA, ÉPOCA CERTA E LUGAR CERTO**
 - conectando as práticas da ciência com o desempenho da sustentabilidade



3.1 Doses de N

Critérios de Recomendação

- 1. Extração e exportação de N pela cultura**
- 2. Boletins de adubação: curvas de respostas**
- 3. Histórico da área e rotação de culturas**
- 4. Uso de sensores**

Exigência nutricional do milho

NUTRIENTE	EXTRAÇÃO	EXPORTAÇÃO
	————— kg t ⁻¹ —————	
N	20	15,0
P	3	2,4
K	17	7,0
Ca	4	1,0
Mg	4	1,2
S	2,5	1,3
	————— g t ⁻¹ —————	
Fe	230	16,1
Mn	37	8,6
Cu	12	2,2
Zn	50	2,4
B	18	4,4
Mo	1	0,7

Fonte: Fancelli (2007) – Adaptado de vários autores.

1. ADUBAÇÃO COM BASE EM EXTRAÇÃO E EXPORTAÇÃO

Região do Cerrado (Boletim Cerrado 2ª Ed)

$$N \text{ (kg ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Requerimento Nutricional} - \text{Suprimento pelo solo}}{\text{Eficiência da adubação}}$$

Requerimento = 20 kg N t⁻¹ de grãos a ser produzido

Suprimento de N do solo: considerar matéria orgânica e histórico da área

Eficiência da adubação = para milho, pode-se considerar eficiência de 60 a 75%

Fonte: Sousa e Lobato (2004)

Suprimento de N do solo

 **30 kg ha⁻¹ de N para cada 1% MO (0-20 cm)**

Suprimento de N pelos resíduos culturais

Culturas	Anos Anteriores	Coefficiente (kg sc ⁻¹ produzido)*
Leguminosas	1	0,45
	2	0,22
	3	0,11
Gramíneas	Todos	0,10

*saco de 60 kg

Exemplo:

$$\text{Dose de N (kg/ha)} = \frac{\text{Requerimento nutricional} - \text{Suprimento pelo solo}}{\text{Eficiência}}$$

Requerimento pelo Milho: 10 t/ha • 20 kg N/t = 200 kg/ha N

Suprimento:

- Solo (2% MO) = 60 kg/ha N

- Resíduos culturais:

Soja (há três anos) = 60 sc/ha • 0,11 = 7 kg/ha

Milho (há dois anos) = 140 sc/ha • 0,1 = 13 kg/ha

Soja (há um ano) = 65 sc/ha • 0,45 = 30 kg/ha

Eficiência da adubação: 60%

$$\begin{aligned} \text{Dose de N} &= \frac{(200 - 60 - 50)}{0,60} \\ &= 150 \text{ kg/ha N (para } 166 \text{ sc ha}^{-1}\text{)} \end{aligned}$$

2. ADUBAÇÃO SEGUINDO BOLETINS DE ADUBAÇÃO SÃO PAULO

Produtividade Esperada	Adubação de Plantio	Classe de Resposta		
		1. Alta	2. Média	3. Baixa
t ha ⁻¹	————— kg ha ⁻¹ —————			
2 – 4	10	40	20	10
4 – 6	20	60	40	20
6 – 8	30	90	60	40
8 – 10	30	120	90	50
10 – 12	30	140	110	70

Fonte: Boletim 100 (1997)

Classe de resposta ao Nitrogênio:

1. Alta resposta esperada: solos corrigidos, com muitos anos de plantio contínuo de milho ou não leguminosas; primeiros anos de plantio direto; solos arenosos

2. Média resposta esperada: solos ácidos que serão corrigidos; com plantio anterior de leguminosas; solos em pousio por um ano; uso de adubos orgânicos no passado

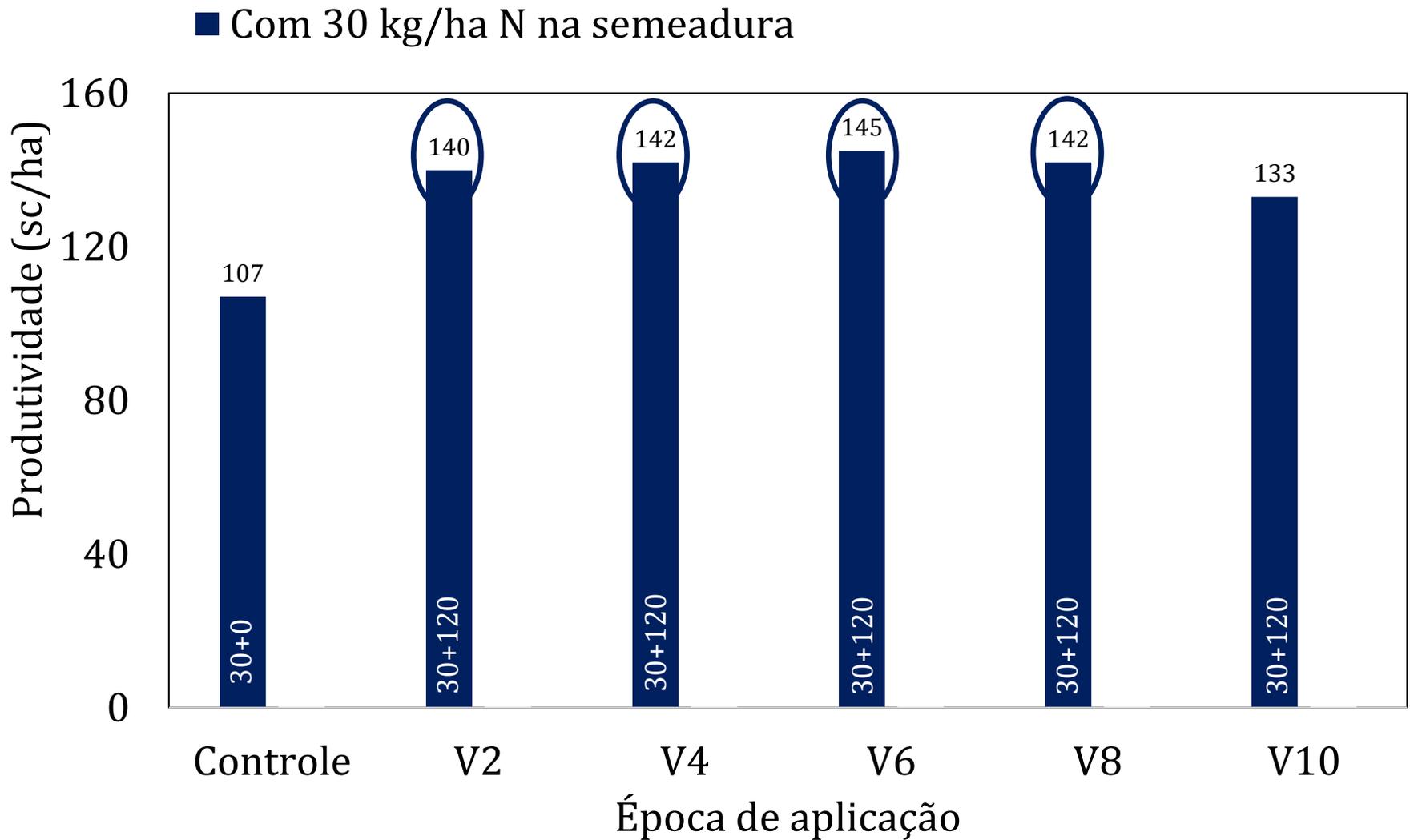
3. Baixa resposta esperada: solo em pousio por um ou mais anos; cultivo de milho após pastagem; cultivo intensivo de leguminosas ou plantio de adubos verdes antes do milho; uso constante de adubos orgânicos

Época: V6 a V8 (até 80 kg ha⁻¹ N, o restante 15-20 dias depois)

Áreas irrigadas: parcelas em 3 vezes ou mais até o florescimento

3.2 Época de aplicação

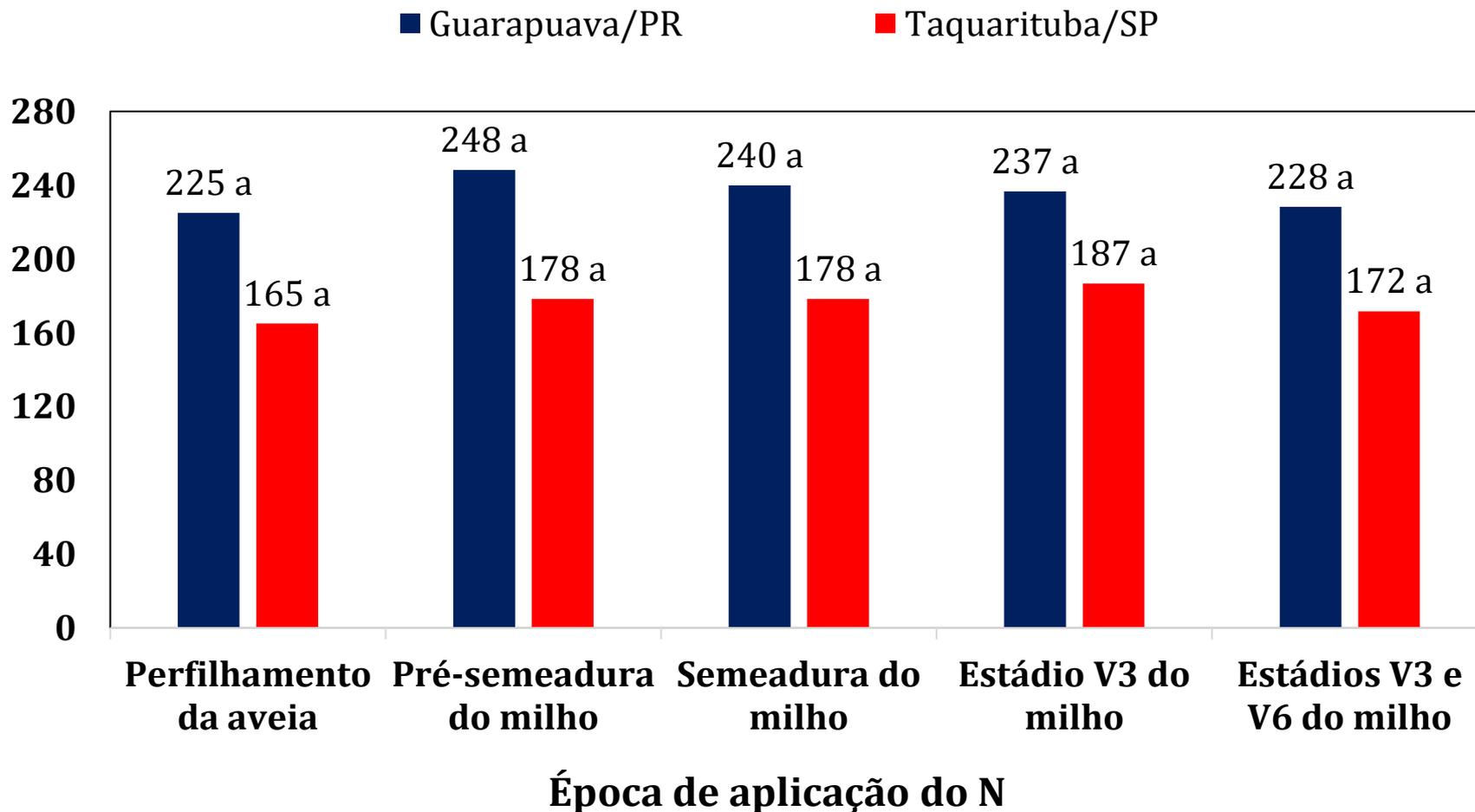
Época de aplicação do N no milho (Piracicaba/SP)



Fonte: Fancelli e Casadei (dados não publicados), em Fancelli (2010)

Adubação antecipada no milho

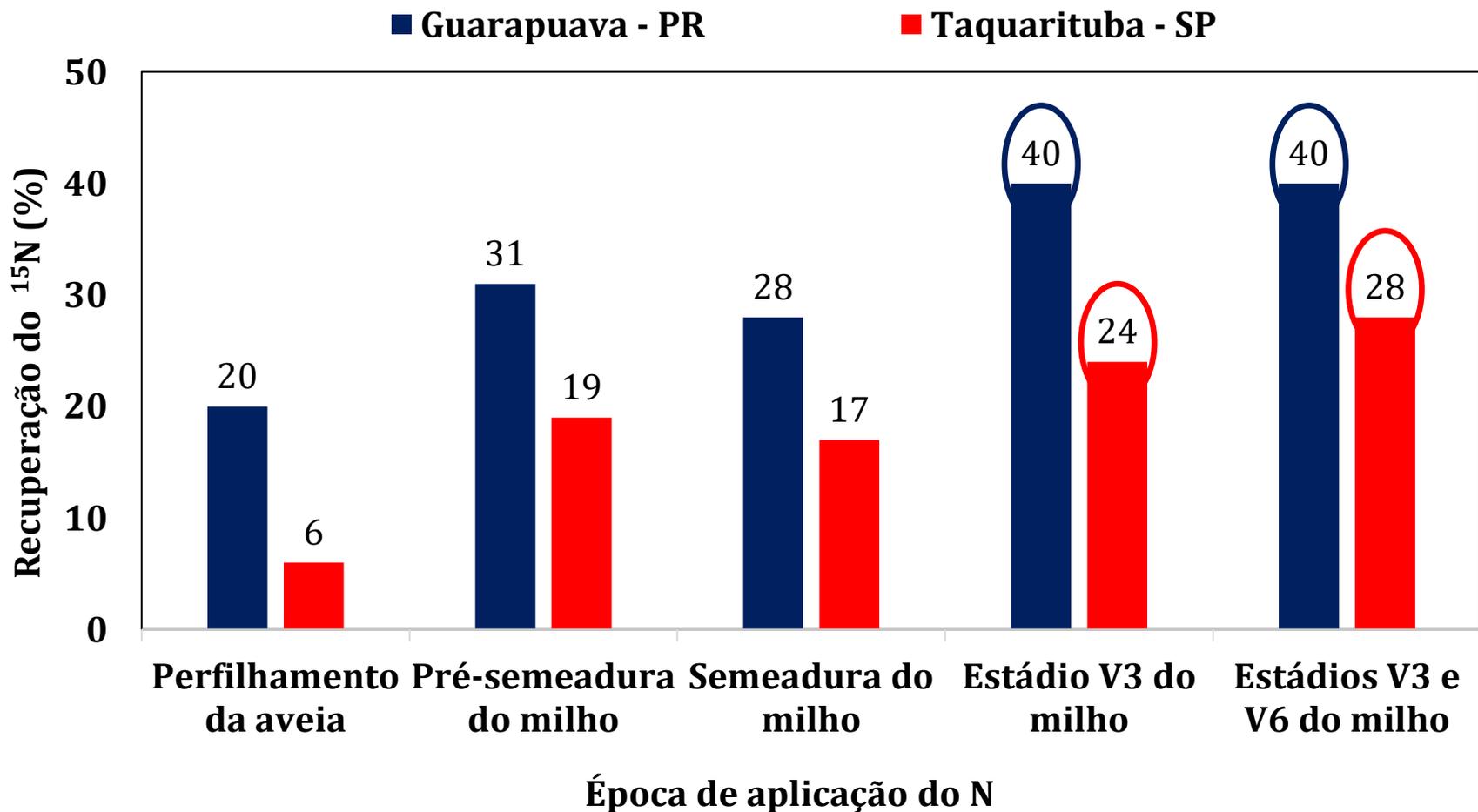
PRODUTIVIDADE (sc/ha)



Fonte: Oliveira (2014)

Adubação antecipada no milho

RECUPERAÇÃO DO ^{15}N (%)



Parcelamento do N no milho

Condição edafoclimática	Parcelamento (Nº)		Época de aplicação
Solo argiloso e de baixa pluviosidade (frequência e intensidade)	1	-	3 ^a -4 ^a folha
Solos arenosos e/ou condição favorável à lixiviação de N	2	1 ^a	3 ^a -4 ^a folha
		2 ^a	6-8 ^a folha
Solos corrigidos, intensamente cultivados e sob irrigação (pivô central)	3	1 ^a	3 ^a -4 ^a folha
		2 ^a	6-8 ^a folha
		3 ^a	10-12 ^a folha

Fonte: Fancelli, 2010

EFICIÊNCIA DOS FERTILIZANTES

VALORES GENÉRICOS

Nitrogênio		
Incorporado (semeadura e cobertura)	Superfície	
	Ureia	SA ou NA
80	50-70	80

Fósforo		
Teor de Argila (%)		
< 20	20-50	> 50
60-80	50-70	20-40

Potássio	
Pré-semeadura	Semeadura e cobertura
85	70-80

SA, Sulfato de Amônio; NA, nitrato de amônio

Fonte: Adaptado de Fancelli (2008)



Região/Estado	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	(%)		
Centro-oeste	61	56	84
MG	42	36	49
BA	57	34	65
MA	120	41	81
PI	88	44	77
TO	84	56	98
Cerrado	75	45	75

Fonte: Cunha et al (2009) - Informações Agronômicas

3.3 Fontes



NH₃ SOLO

Aplicação Superficial

Média de 30%



Necessário incorporação – dificuldade pela palha



Vieira, 2009



Reações da Ureia no solo



sofrer volatilização

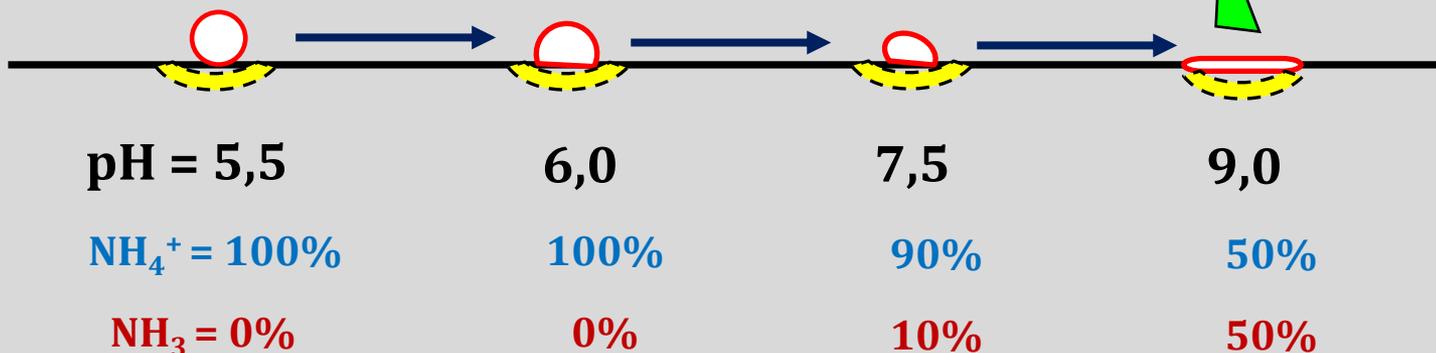


COMPORTAMENTO DA UREIA APÓS HIDRÓLISE NO SOLO

Secamento do solo e evaporação da água: amônia para atmosfera!

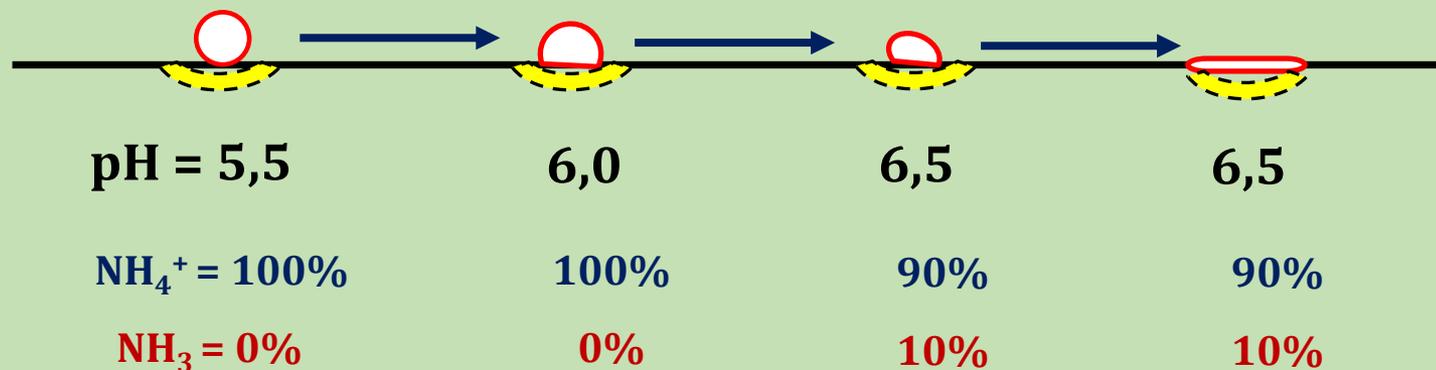
UREIA APLICADA EM SOLO ÚMIDO
(APÓS A CHUVA)

ALTAS PERDAS



UREIA APLICADA EM SOLO SECO
(ANTES DA CHUVA)

BAIXAS PERDAS



Como reduzir perdas de amônia por volatilização da ureia?

- Incorporar a ureia (5-10 cm)
- Aplicação em solo seco (antes da chuva)
- Aplicar antes da irrigação (pelo menos 15 mm)
- Uso de inibidores de urease

Objetivo

Avaliar a viabilidade do aumento da concentração de NBPT na ureia para reduzir perdas de NH_3 por volatilização em áreas de cana-crua

6 experim. avaliação volatilização

Tratam.	Descrição	Dose de N (kg ha^{-1})
1	Controle	0
2	Ureia	100
3	Nitrato de Amônio	100
4	Ureia + NBPT 1 (530 ppm)	100
5	Ureia + NBPT 1 (850 ppm)	100
6	Ureia + NBPT 1 (1500 ppm)	100
7	Ureia + NBPT 1 (2000 ppm)	100
8	Ureia + NBPT 2 (850 ppm)	100

2 experim. avaliação produtividade

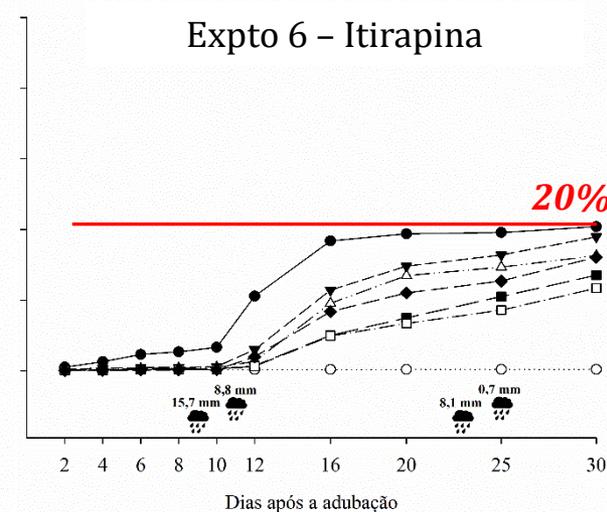
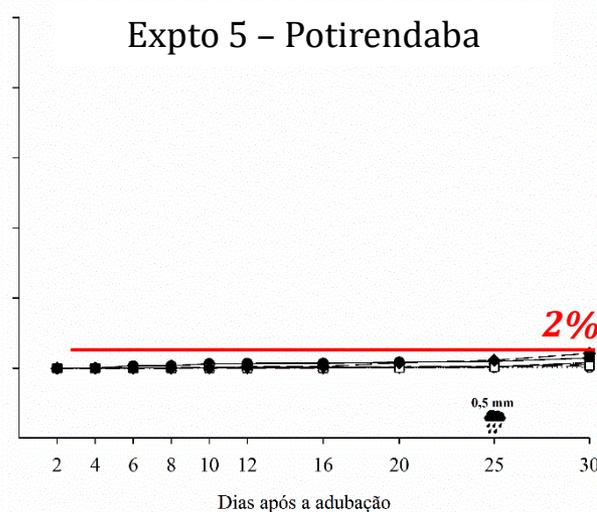
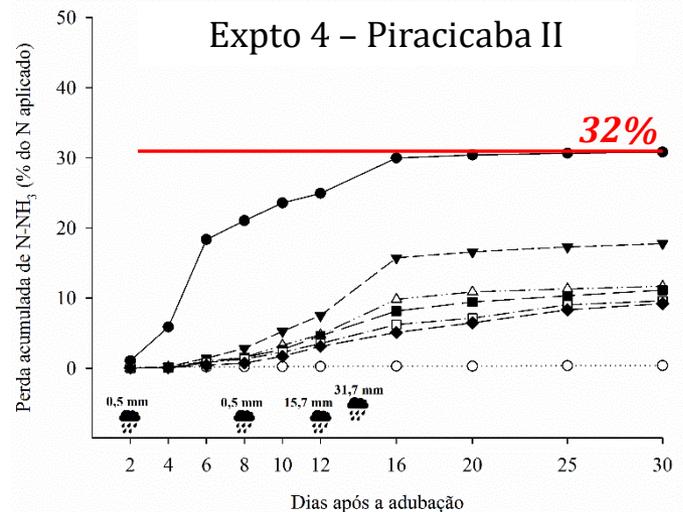
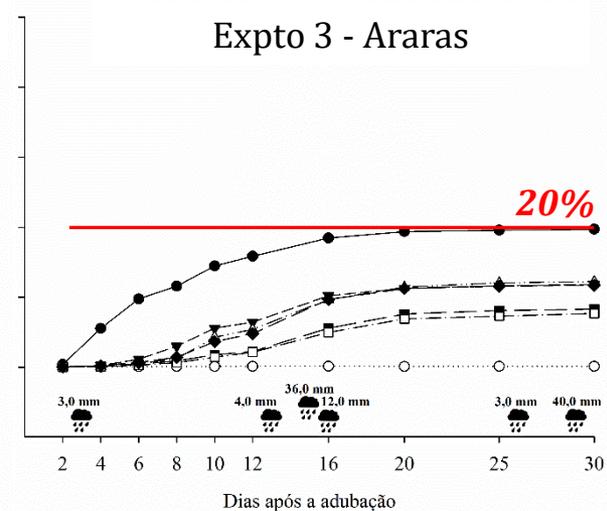
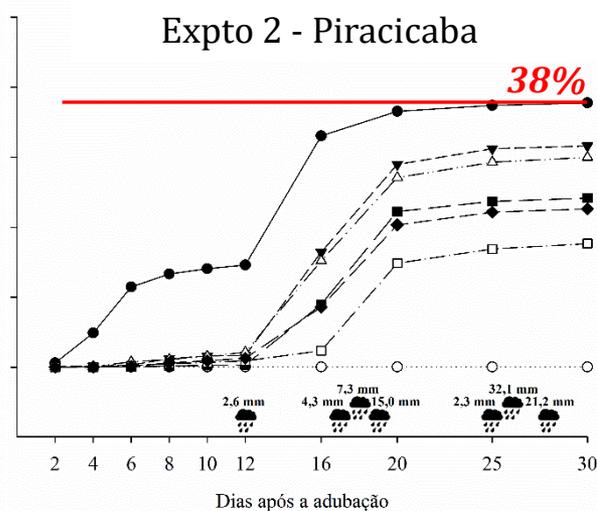
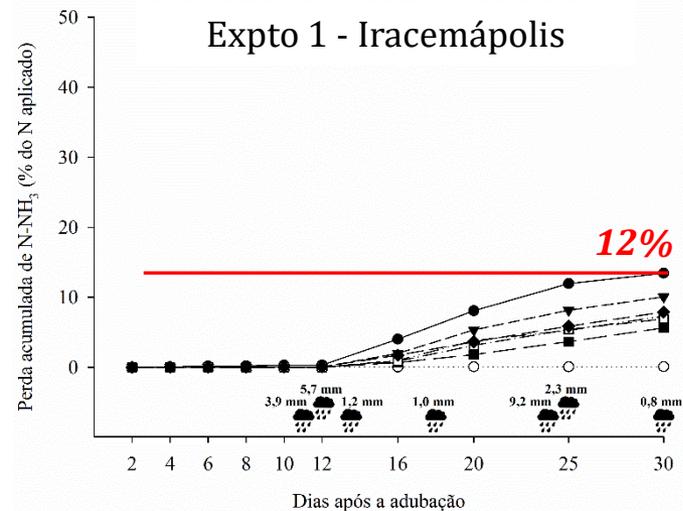
Tratam.	Descrição	Dose de N (kg ha^{-1})
1	Controle	0
2	Ureia	50
3	Ureia	100
4	Nitrato de Amônio	50
5	Nitrato de Amônio	100
6	Ureia + NBPT 1 (530 ppm)	50
7	Ureia + NBPT 1 (530 ppm)	100
8	Ureia + NBPT 1 (850 ppm)	50
9	Ureia + NBPT 1 (850 ppm)	100
10	Ureia + NBPT 1 (1500 ppm)	50
11	Ureia + NBPT 1 (1500 ppm)	100
12	Ureia + NBPT 1 (2000 ppm)	50
13	Ureia + NBPT 1 (2000 ppm)	100
14	Ureia + NBPT 2 (850 ppm)	50
15	Ureia + NBPT 2 (850 ppm)	100

Experimento 3 - Araras



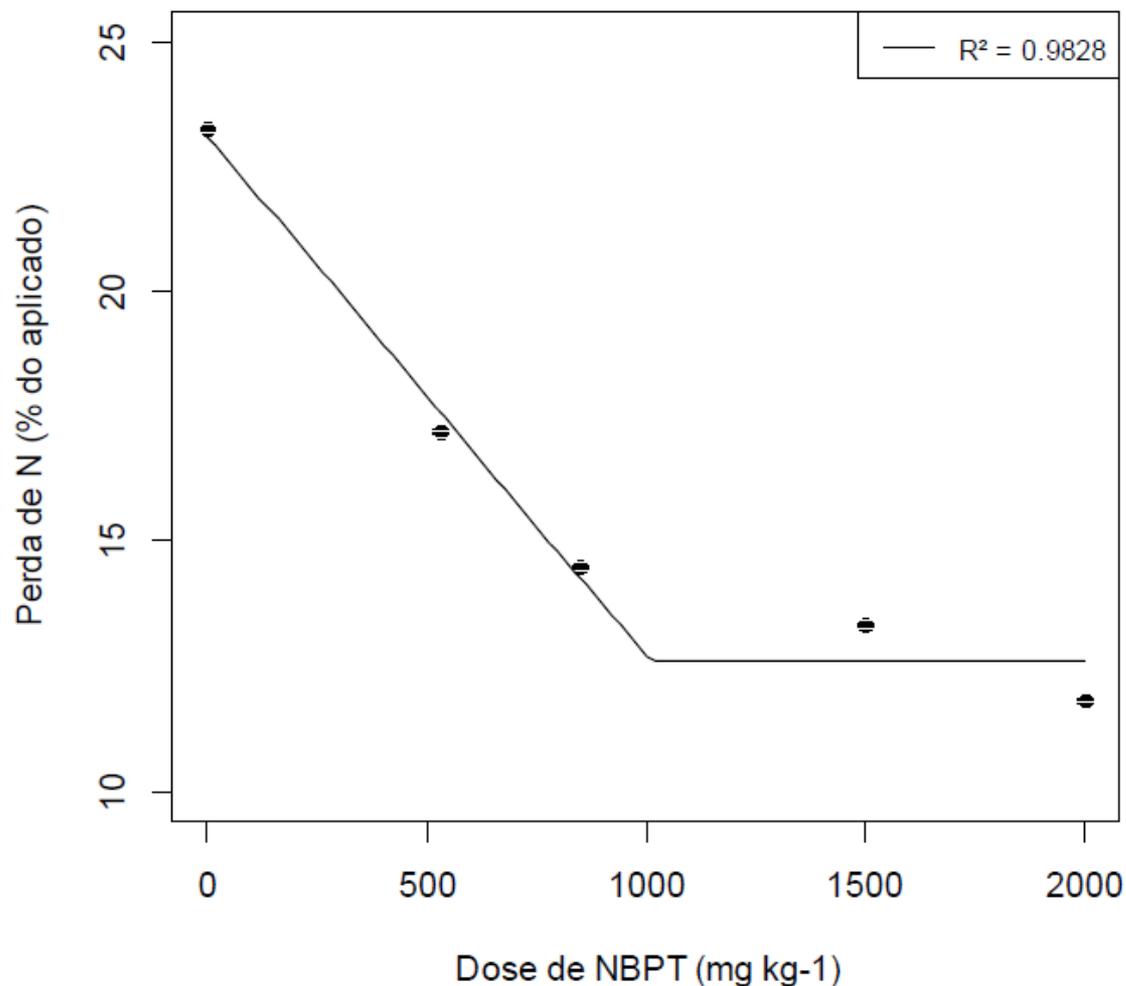
**Neste experimento foi avaliada a produtividade.*

PERDAS DE NH₃ EM CANA-CRUA



PERDAS DE NH_3 EM CANA-CRUA

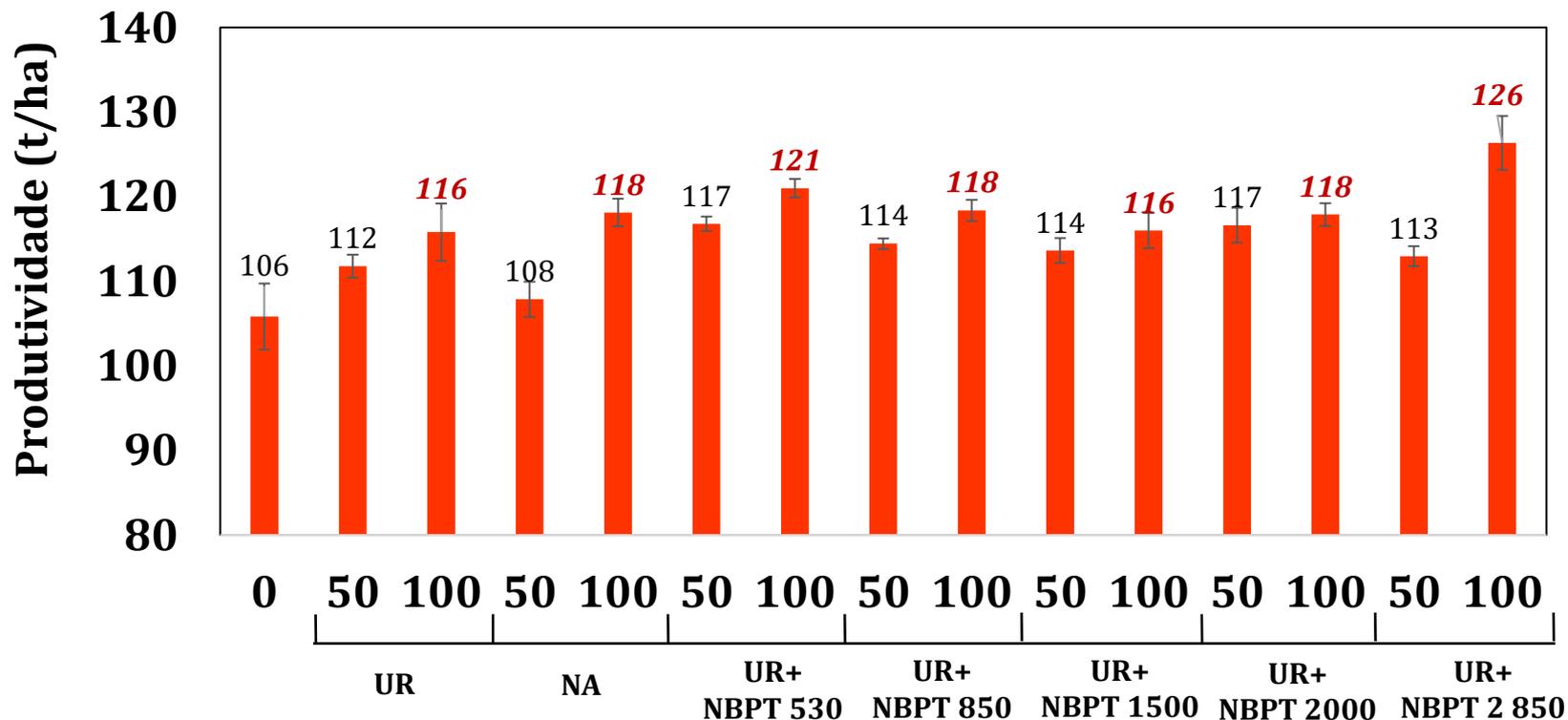
Efeito do aumento da concentração de NBPT na redução das perdas por volatilização de NH_3 da ureia



Fonte: Mira et al. (2017)

PRODUTIVIDADE DA CANA-CRUA *vs* FONTES DE N

Experimento 3 - Araras

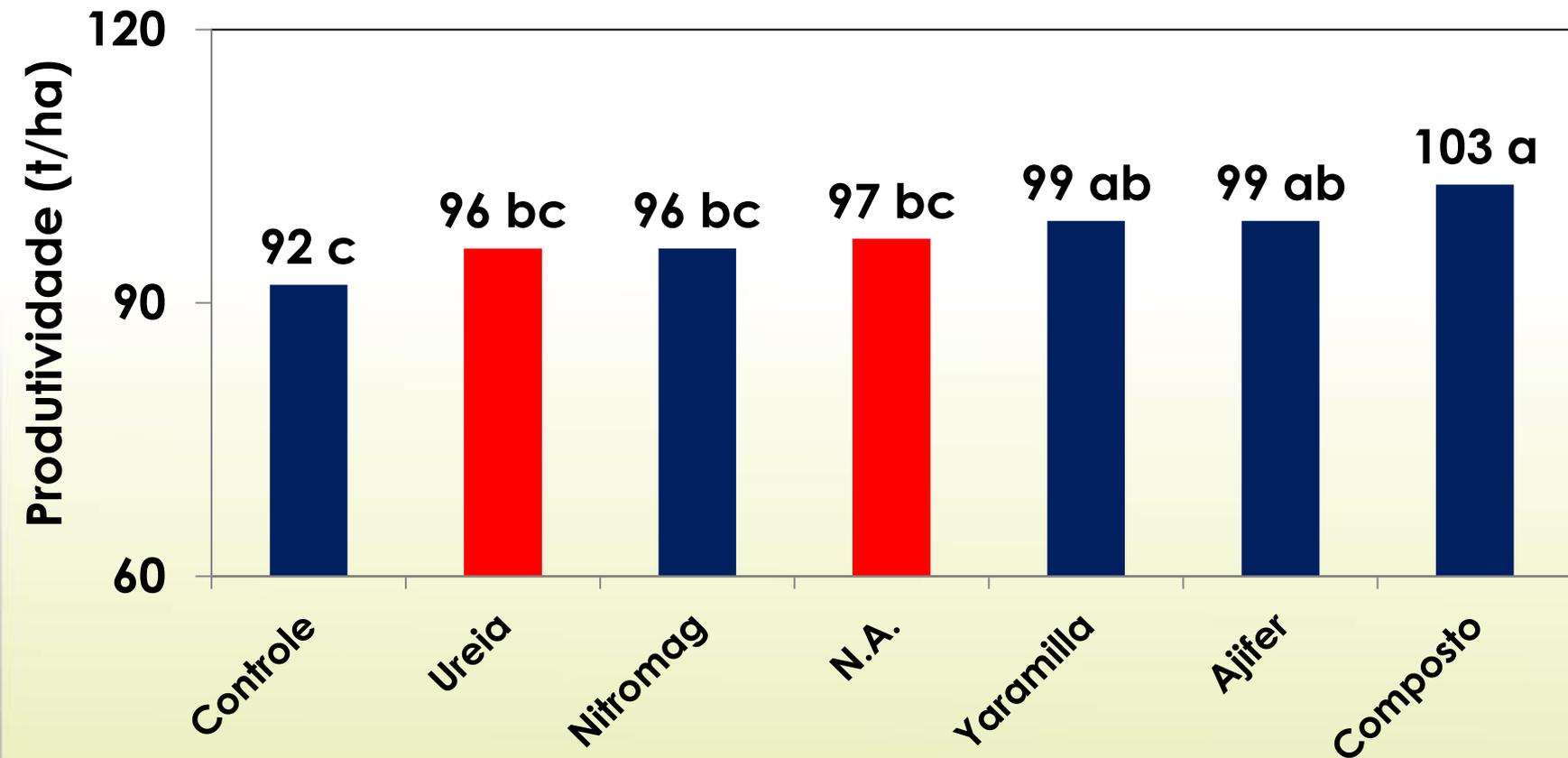


Fonte: Moreira, Otto e Cantarella (dados não publicados)

FONTES DE N



Média de 6 experimentos
(Us. Estiva, Us. Noble, Us. Interlagos)



Fonte: Trivelin e Otto (dados não publicados)

Hipóteses para ausência de diferença de produtividade entre ureia e nitrato de amônio

- Preferência de absorção de NH_4^+ em relação a NO_3^- pela cana-de-açúcar (Robinson et al., 2011)
- Potencial de perda por lixiviação de NO_3^- em áreas de soqueira de cana-crua (Ghiberto et al., 2015)
- Preferência de imobilização de NH_4^+ em relação a NO_3^- pelos microorganismos (diminuindo chances de perdas do N ureia)

4. FERTILIZANTES DE EFICIÊNCIA AUMENTADA

4.1 Fertilizantes de liberação lenta

- Recobertos, encapsulados, insolúveis, etc



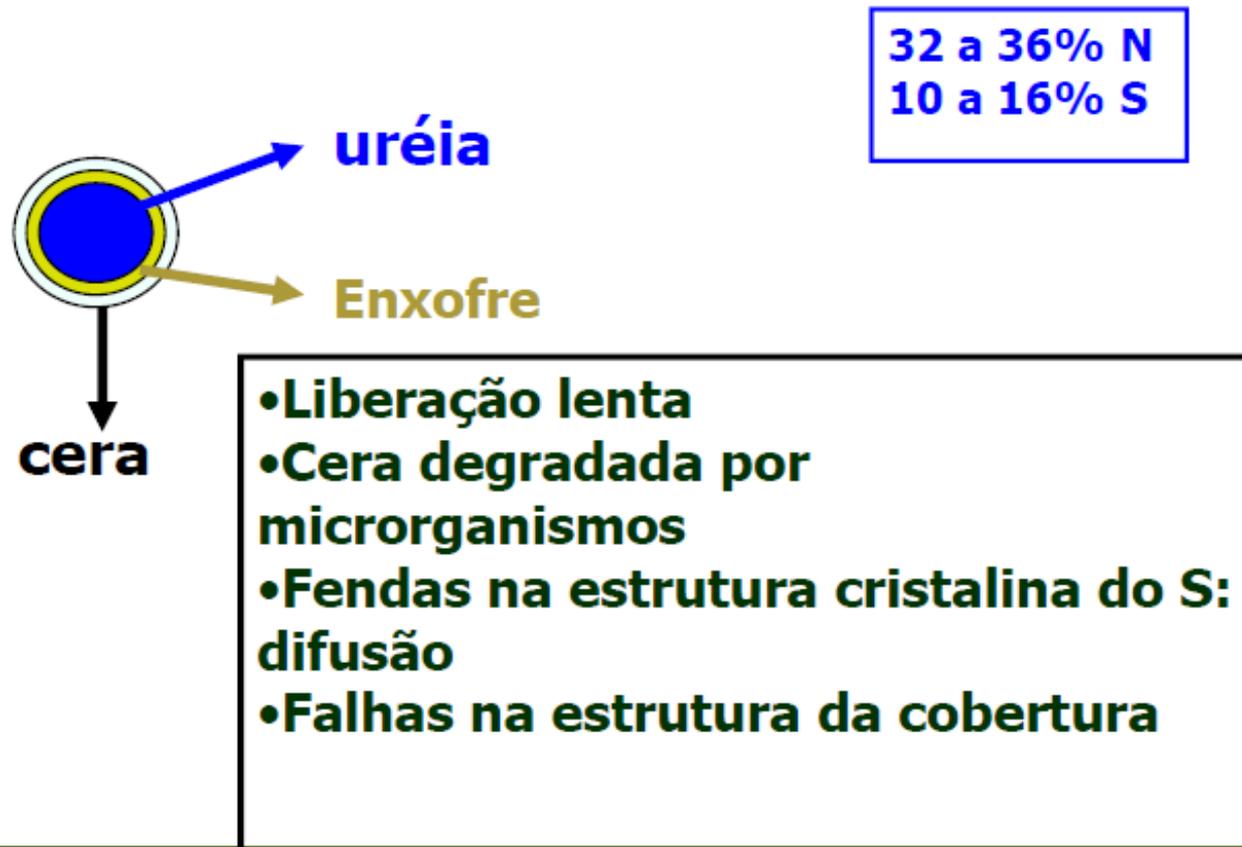
4.2 Fertilizantes estabilizados

- Contêm aditivos ou inibidores

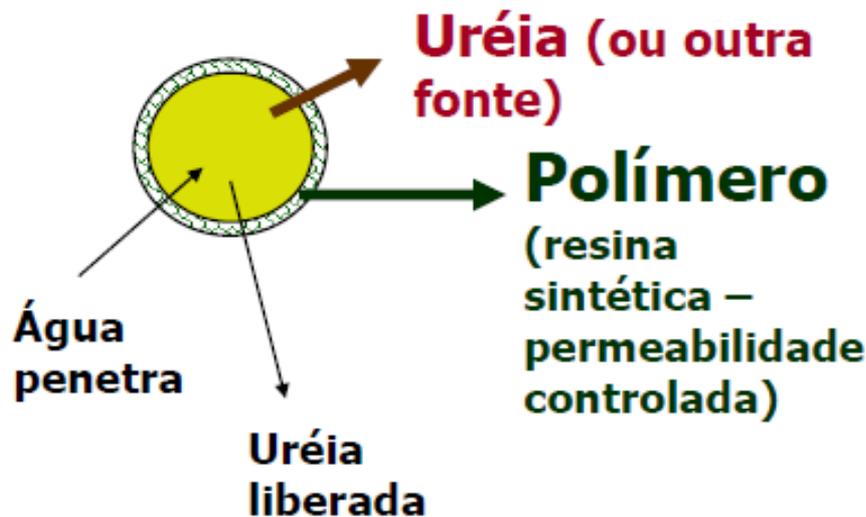


4.1 FERTILIZANTES DE LIBERAÇÃO LENTA

Fertilizantes nitrogenados de solubilidade controlada – **Uréia recoberta com S (SCU)**



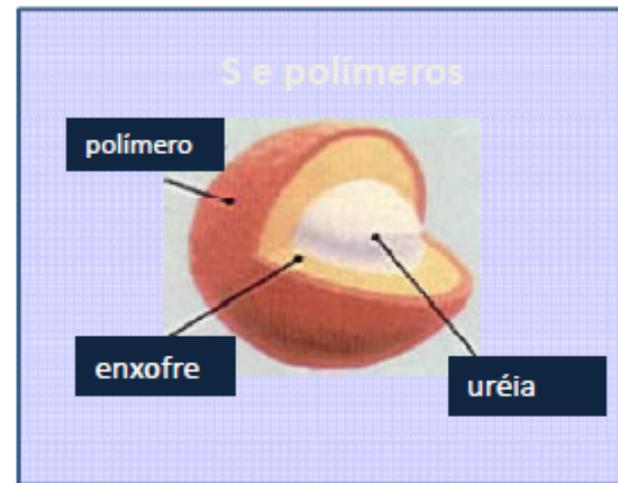
Fertilizantes nitrogenados de solubilidade controlada - Coberturas com polímeros

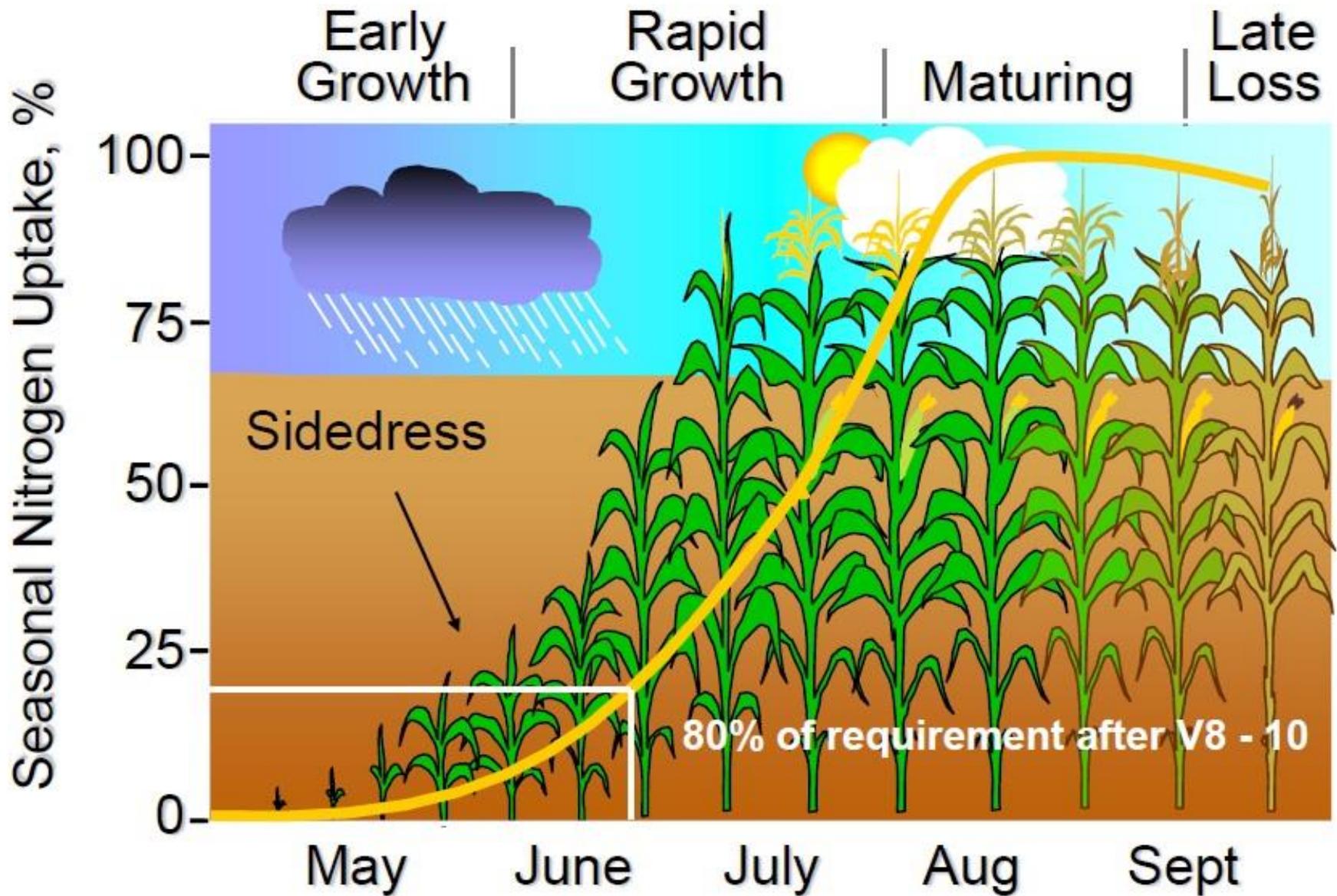


Liberação é controlada pela composição ou espessura do recobrimento:
Ex. 80% liberado em 30 dias, 90 dias etc

Vários produtos, com diferentes tecnologias de produção da cobertura

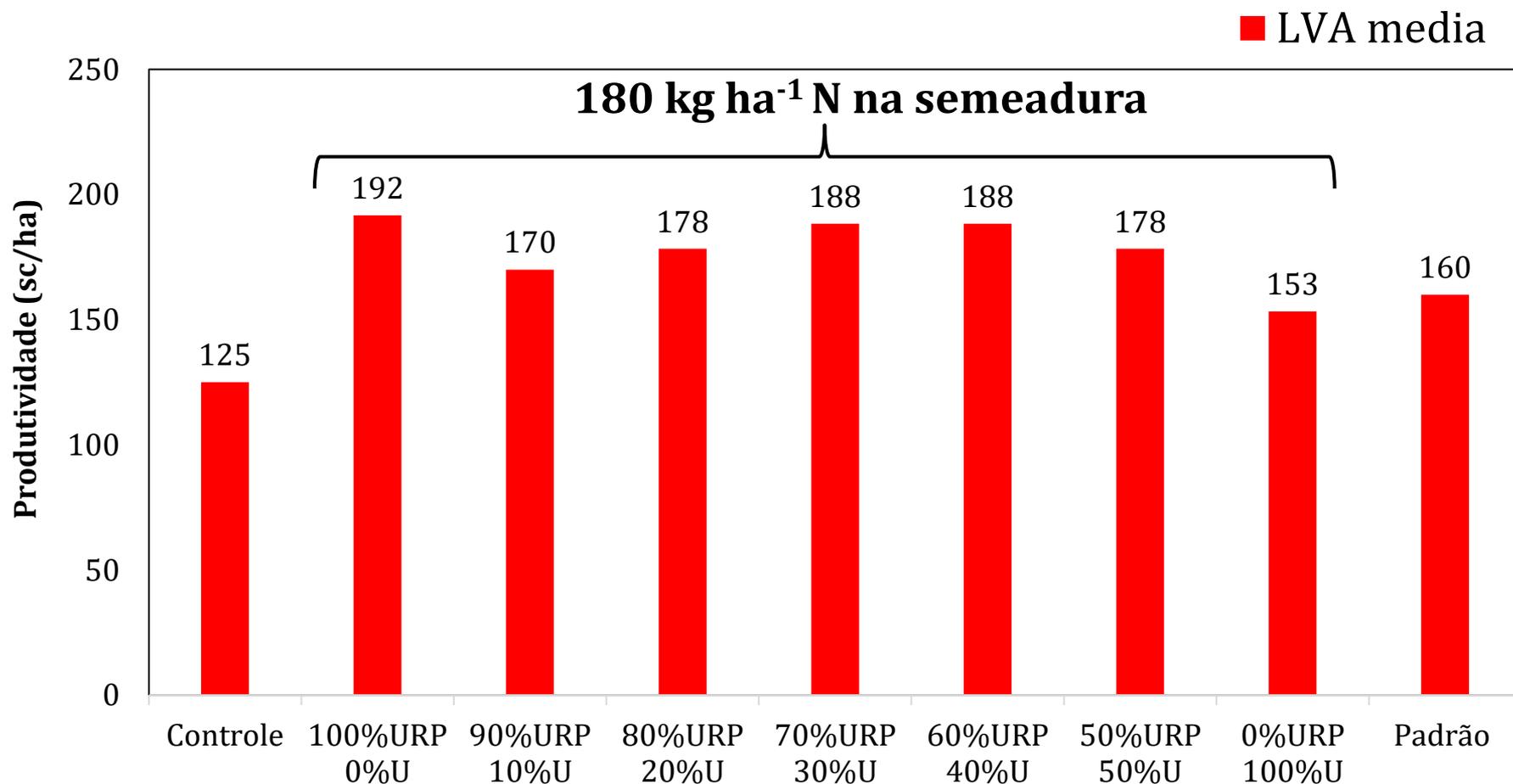
Osmocote; Meister
Nutricote; Poly-S





Necessidade de N pelo milho

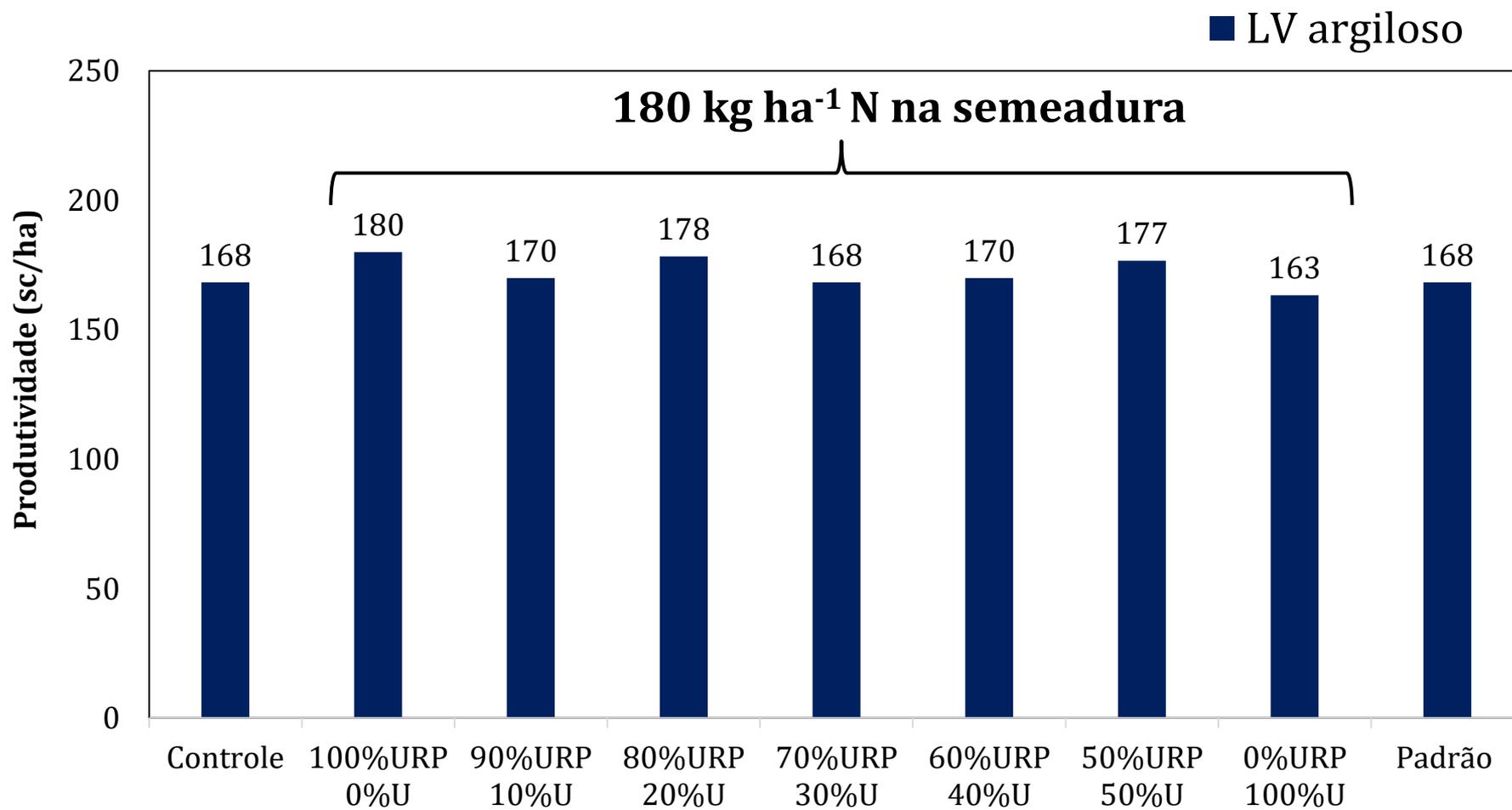
Misturas de ureia revestida com polímeros (URP) e ureia convencional na adubação da cultura de milho



Padrão = 20% semeadura e 80% cobertura

Fonte: Villalba & Trivelin, 2014

Misturas de ureia revestida com polímeros (URP) e ureia convencional na adubação da cultura de milho



Padrão = 20% semeadura e 80% cobertura

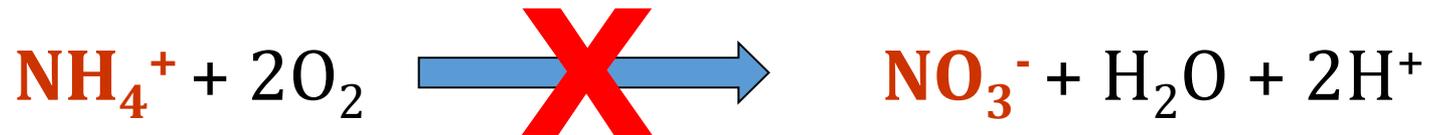
Fonte: Villalba & Trivelin, 2014

4.2 FERTILIZANTES ESTABILIZADOS

a) Inibidores de Nitrificação

b) Inibidores de Urease

a) Inibidores da Nitrificação



Diversos compostos testados, porém com importância prática e comercial:

- **Nitrapirina: 2-cloro-6(triclorometil)-pirideno**
Dow (N-Serve), decompõe em 30 dias ou menos
- **DCD: dicianodiamida (67% de N)**
Alemanha, Japão e Noruega, estabilização por 6 a 8 semanas
- **DMPP: 3,4-dimetil pirazol fosfato**

Inibidor de nitrificação (DCD) em SPD em Argissolo arenoso, SP

Época de aplicação	Fonte de N	Rendimento de grãos	N Foliar	Recuperação de N (^{15}N)
		kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹	%
Semeadura	UR	7.574	26,2	34,7
	UR + DCD	7.567	28,5	
4 folhas	UR	8.117	29,3	
	UR+DCD	8.014	29,4	
4 + 8 folhas	UR	8.553	30,4	
	UR + DCD	8.169	29,6	
Contraste semeadura X cobertura		**	**	-
Contraste UR X UR+DCD		ns	ns	*

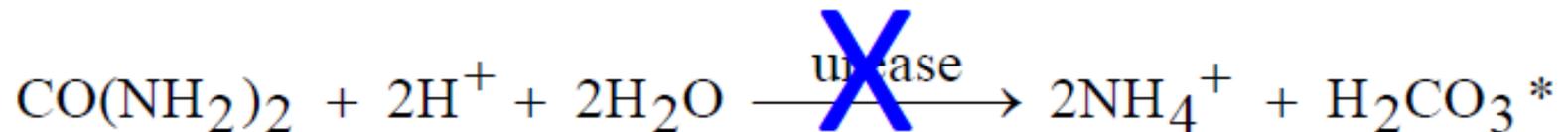
Resposta a N

Resposta a época de aplicação (pior na semeadura)

Ausência de resposta ao DCD, mas, este aumentou a recuperação de N

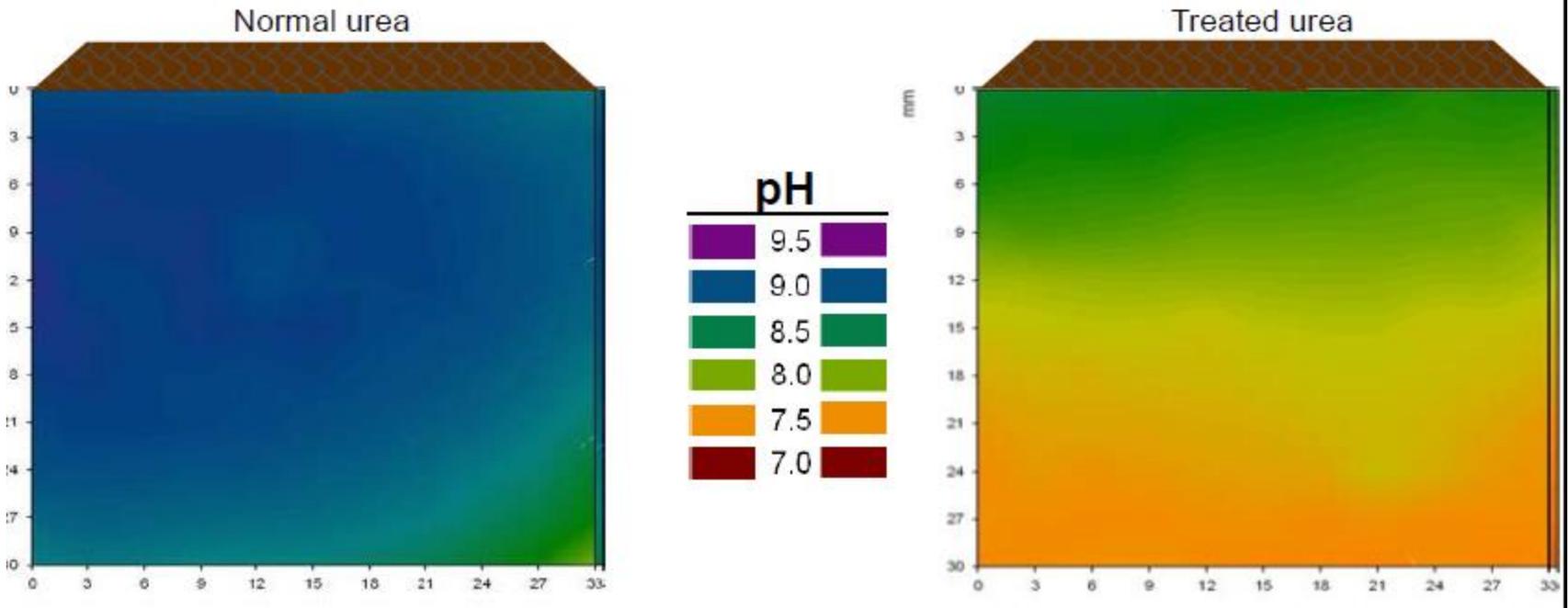
b) Inibidores de urease

- Literatura: > 14.000 compostos ou misturas testadas como inibidor de urease de solos (Kiss & Simihaian, 2002)

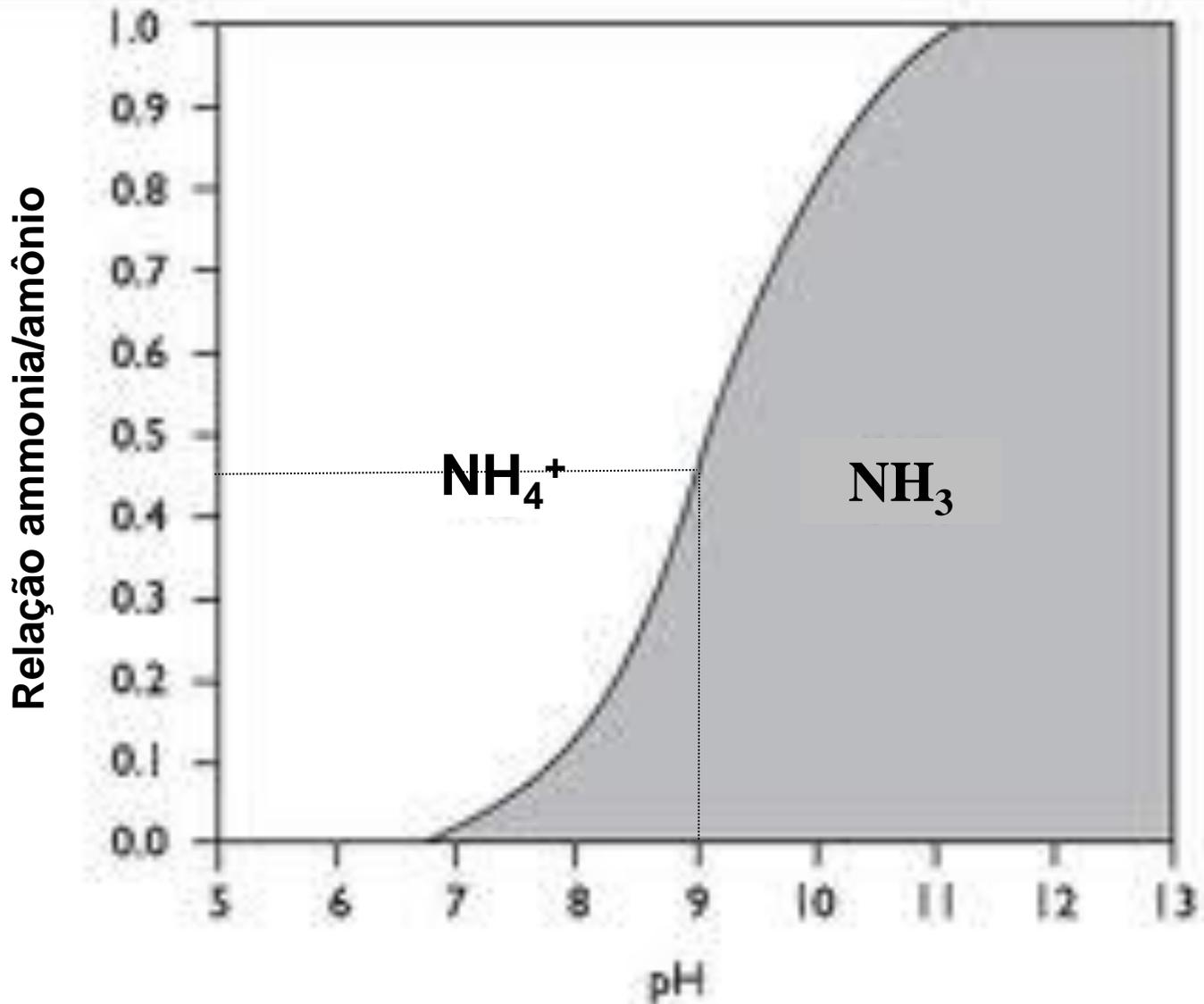


Inibidores da urease

Ex: NBPT (Agrotain)



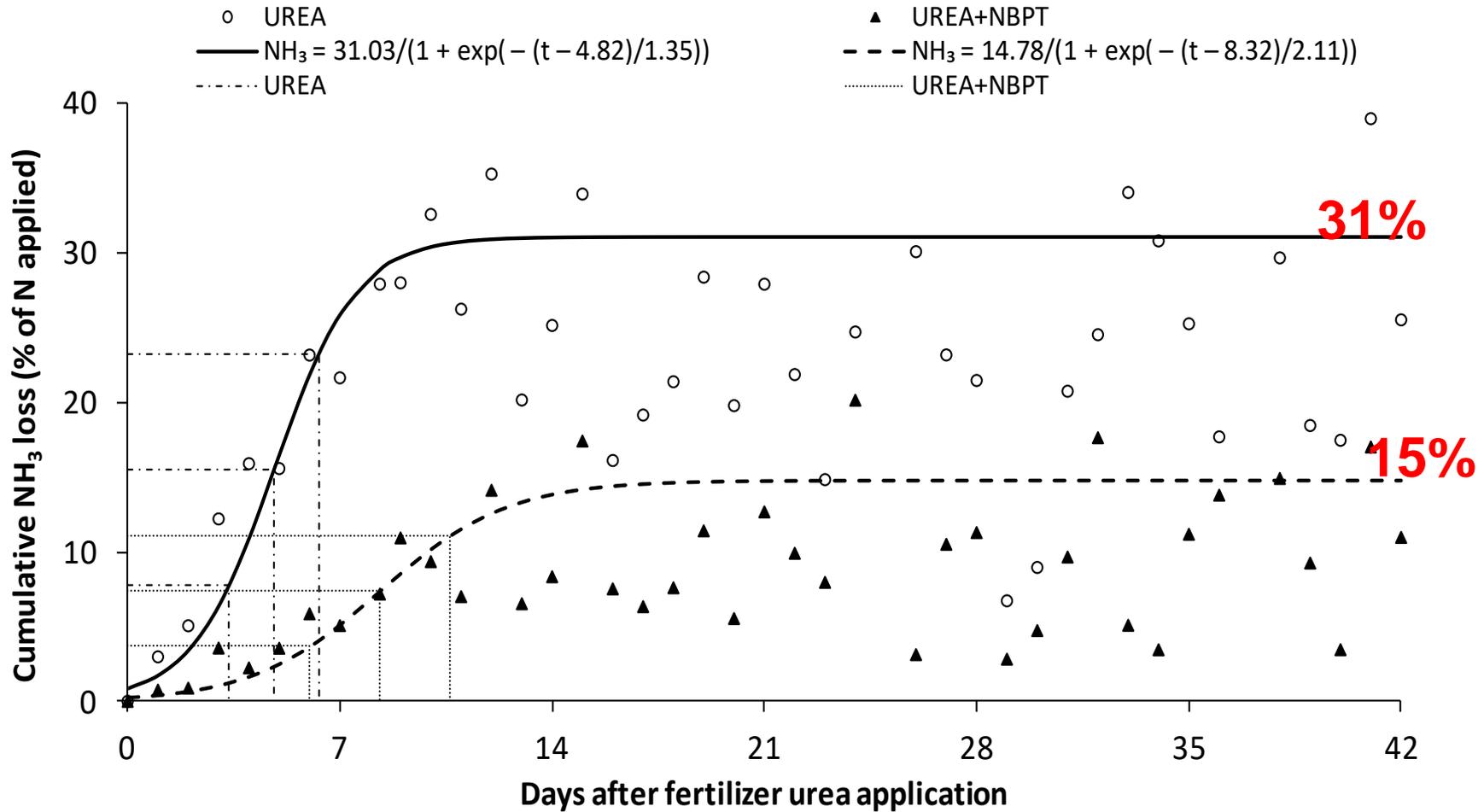
Fonte: Agrotain



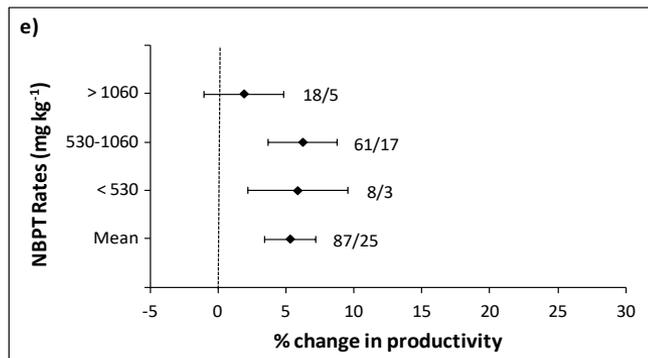
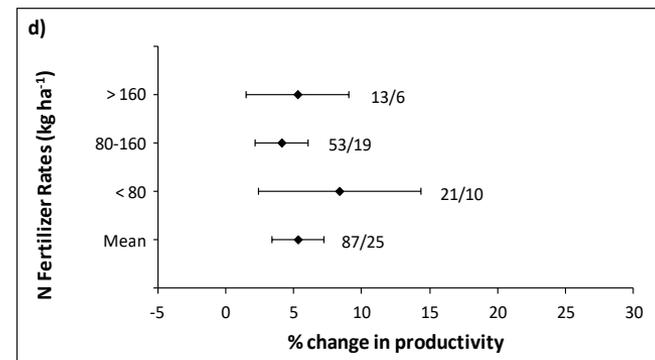
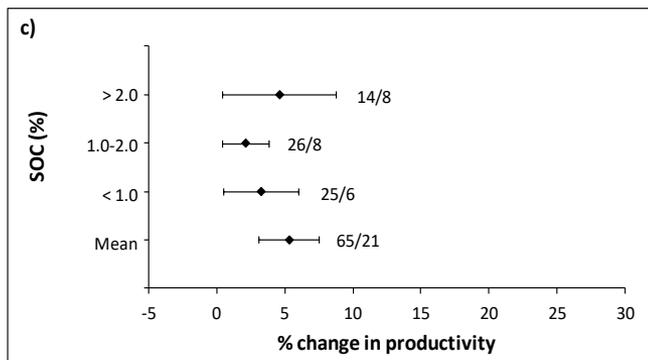
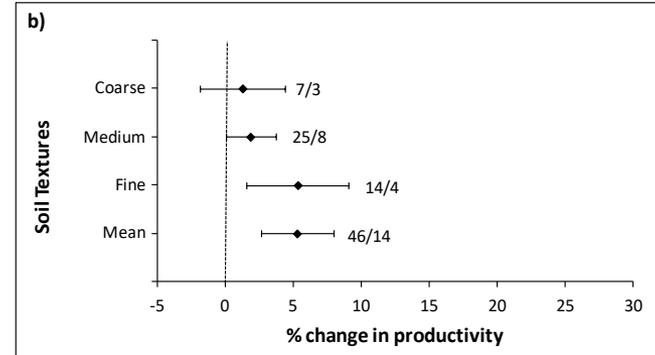
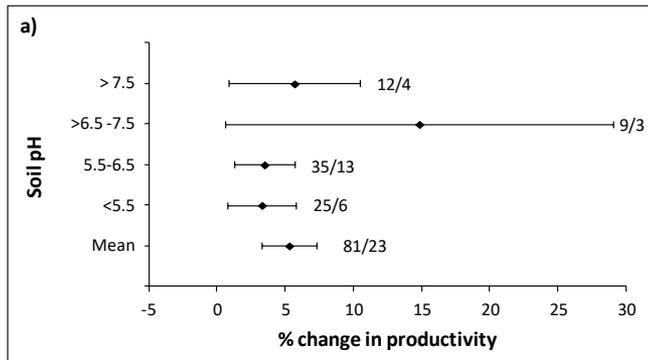
Formas de N em função do pH do meio

NBPT vs PERDAS DE NH₃

Meta-análise



NBPT vs AUMENTO DE PRODUTIVIDADE



Meta-análise

• Inibidor de urease

- Controla o aumento no pH e acúmulo de NH_4^+
- O inibidor mais efetivo e mais utilizado é o NBPT (Koch[®])
- 135 comparações, aumentou produtividade em 13 (10%)

Table 1. Corn grain yield as a function of N fertilizer source; rate, time, and method of incorporation; and use of urease inhibitors.

Fertilizer	Application		N rate, lb/acre												Overall avg.
			50				100				150				
			1989	1990	1991	Avg.	1989	1990	1991	Avg.	1989	1990	1991	Avg.	
bu/acre															
UAN	Plant	Spray	105	83	107	98	103	98	114	105	117	144	129	130	111
UAN-ATS	Plant	Spray	97	75	112	95	111	101	116	109	123	150	119	131	112
UAN-NBPT	Plant	Spray	102	92	104	99	120	133	123	125	129	139	118	129	118
UAN	Plant	Band	101	95	107	101	122	106	131	120	141	143	127	137	119
UAN-ATS	Plant	Band	99	106	116	107	125	140	119	128	131	153	130	138	124
UAN-NBPT	Plant	Band	92	103	104	100	117	121	131	123	141	159	121	140	121
UAN	Side.	Band	95	102	113	103	143	151	110	135	129	149	126	135	124
UAN-ATS	Side.	Band	109	105	116	110	128	131	122	127	147	152	115	138	125
UAN-NBPT	Side.	Band	88	95	119	101	129	139	118	129	133	155	123	137	122
UAN	Side.	Inject	104	99	124	109	124	152	130	135	137	169	126	144	129
Urea	Plant	Broad.	85	99	95	93	99	112	111	107	104	133	115	117	106
Urea-NBPT	Plant	Broad.	83	103	118	101	106	143	119	123	134	150	123	136	120
Urea	Side.	Band	86	106	104	99	112	120	119	117	125	140	108	124	113
Urea-NBPT	Side.	Band	100	108	104	104	137	130	123	130	147	132	136	138	124
Am. nit.	Plant	Broad.	99	88	109	99	126	122	134	127	142	151	122	138	121
Average			96	97	110	101	120	127	121	123	132	148	123	134	119
LSD (0.05)			20.1	19.9	18.4	13.2	20.1	19.9	18.4	13.2	20.1	19.9	18.4	13.2	7.5

Fonte: Fox and Piekielek (1993)

VOLATILIZAÇÃO DE NH₃ DE FERTILIZANTES DE EFICIÊNCIA AUMENTADA

Produto	Características técnicas	Concent, N informada	Granulometria
IBDU	Isobutilidene diurea - produto da condensação de ureia e isobutialdeído	32%	2-4mm
CDU	Crotonilidene diureia - produto da condensação da uréia e acetaldeído	31%	2-4mm
Methylene 75	Ureia formaldeído (metileno ureia) - produto da condensação de uréia e formaldeído	39%	1-2mm
Ciclus NS	Uréia formaldeído (metileno ureia) + sulfato de amônio (7%S)	30%	< 1mm
Ureia Formaldeído*	Uréia formaldeído (metileno ureia)	35%	< 1mm
Poly Plus Sulphur Coated Urea	Uréia revestida com enxofre (22%S) e polímero	29%	<1,4mm
Producele	Uréia revestida com enxofre (11% de S) e polímero orgânico	39%	2-4mm
FH Nitro Gold	Uréia revestida com enxofre (16% S)	37%	2-4mm
Meister - "LP coat L30"	Uréia revestida com polímero (resina de acetato vinil etileno e polietileno) - liberação linear	42%	2-4mm
Meister - "LPS 30"	Uréia revestida com polímero (resina de acetato vinil etileno e polietileno) - liberação sigmoidal	40%	2-4mm
ESN	Uréia revestida com polímero	39	2-4mm
Kimcoat LGU	Uréia revestida com polímero biodegradável	41	2-4mm
Super U	Uréia com 0,07% NBPT e 0,85% DCD	46	2-4mm
Super N	Uréia com 2,5 l NBPT /t	45	2-4mm
Ureia	Ureia	45	1-2 mm
Nitrato de Amônio	Nitrato de Amônio P.A.	34,3	1-2 mm
Sulfato de Amônio	Sulfato de Amônio	21	<1mm

- Polímeros de Ureia aldeídos

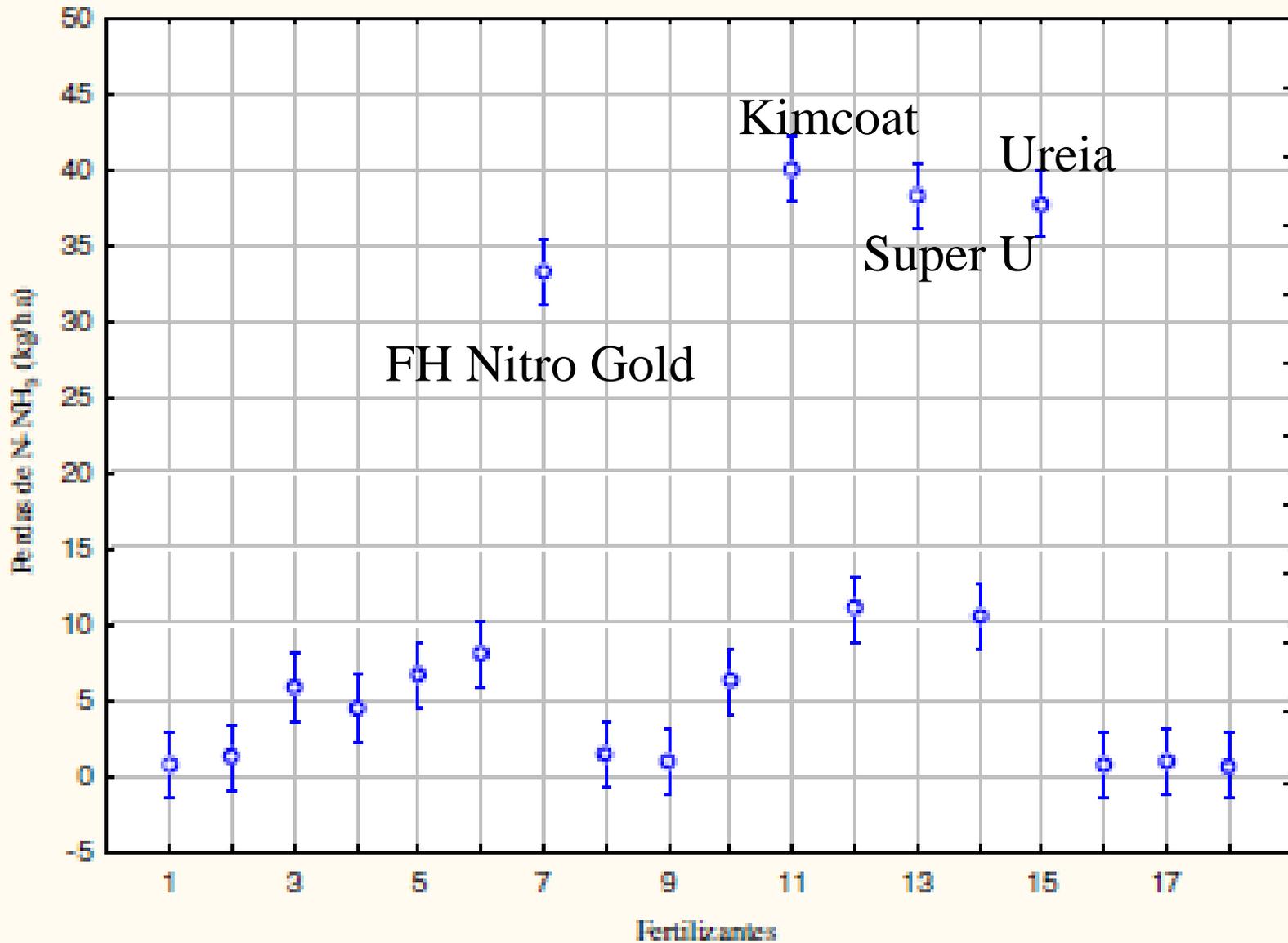
- Ureia de liberação controlada

- Ureia de liberação lenta

- Ureia com inibidores

- Fertilizantes convencionais

FERTILIZANTES DE EFICIÊNCIA AUMENTADA = NÃO FAZEM MILAGRE



FERTILIZANTES DE EFICIÊNCIA AUMENTADA NÃO FAZEM MILAGRE

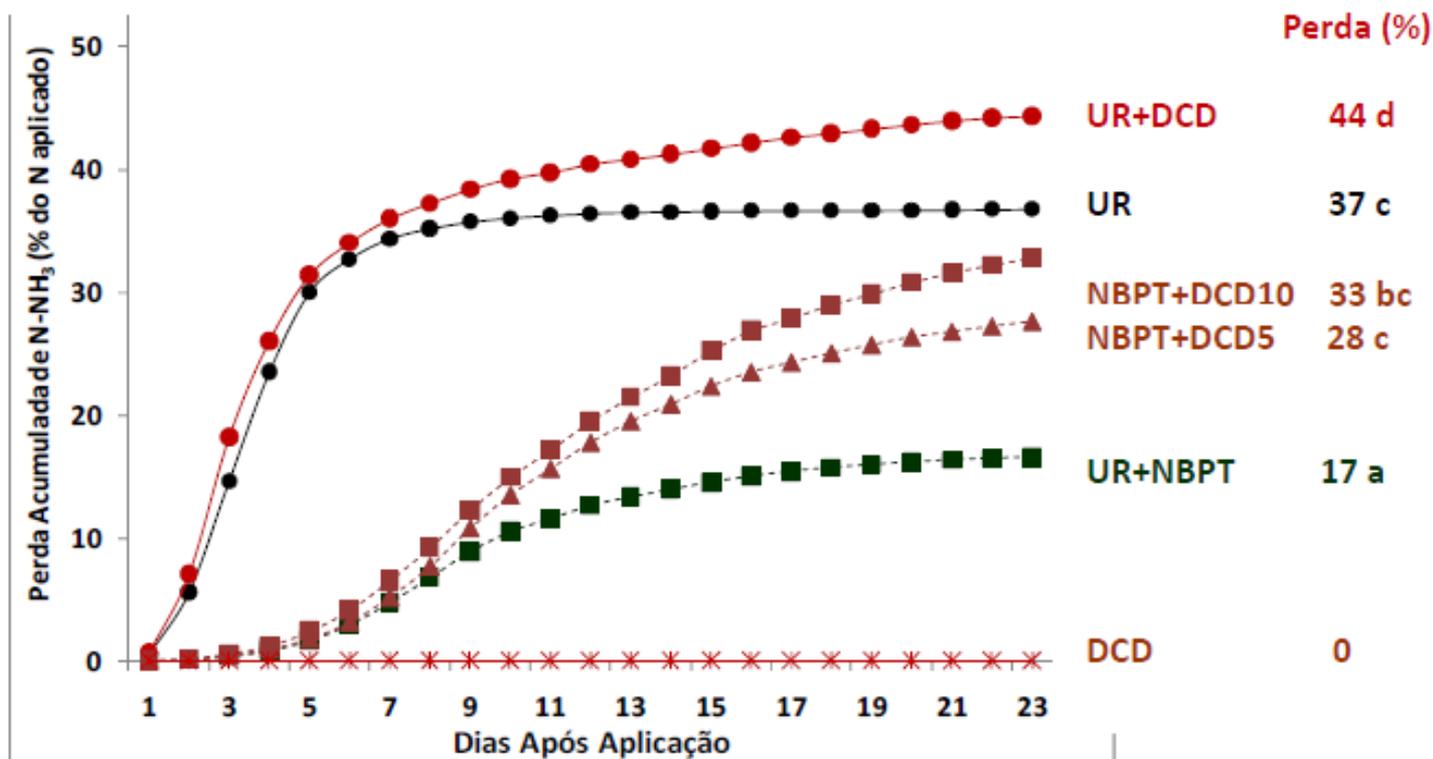
Fertilizante	Perda N-NH ₃ (kg/ha)
Kimcoat	39,930 a
Super U	38,211 ab
Ureia	37,699 ab
Nitro Gold	33,23 b
Producote	11,041 c
Super N	10,468 c
PPSCU	8,070 cd
UF	6,605 cde
ESN	6,259 cdef
Methylene	5,828 cdefg
Ciclus NS	4,461 defg
Meister L30	1,356 efg
CDU	1,278 efg
Meister LPS30	0,926 fg
AS	0,892 fg
NA	0,734 fg
IBDU	0,678 g
Testemunha	0,651 g



Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Fonte: Adaptado de Ghizzi,2012

Mistura de inibidores pode reduzir eficiência do NBPT



Fontes



Efeito da aplicação de N incorporado e a lanço com polímeros em cobertura na produtividade do milho

Tratamento	Modo de aplicação	Produtividade
		kg ha⁻¹
Ureia + Polímero (50% da dose)	Superficial	6.567 c
Ureia + Polímero (100% da dose)	Superficial	7.429 b
Ureia (100% da dose)	Incorporada	8.278 a
CV (%)		6,74

Fonte: Civiardi et al., 2011

Uso de sensores



Fonte: João Maçãs (Yara)

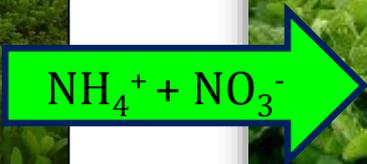
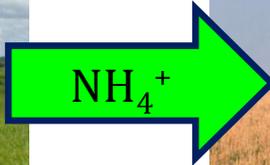
6. FATORES QUE AFETAM A RESPOSTA À ADUBAÇÃO NITROGENADA

6.1 Rotação de culturas

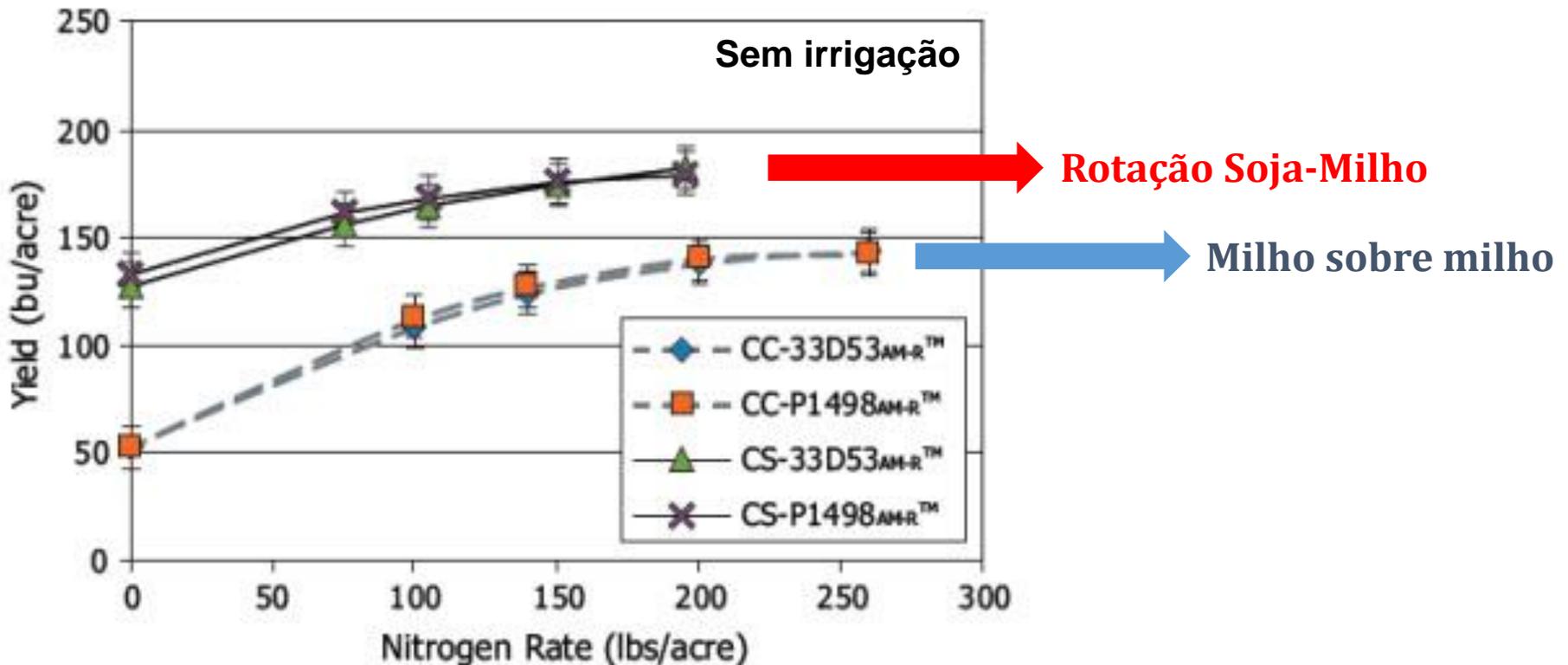
6.2 Uso de subprodutos

6.2 Condições climáticas

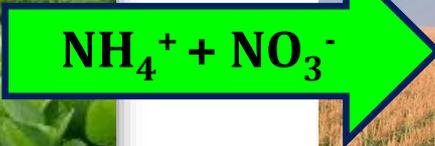
6.1 ROTAÇÃO DE CULTURAS



A ROTAÇÃO SOJA-MILHO REDUZ A RESPOSTA DO MILHO À ADUBAÇÃO NITROGENADA



6.1 ROTAÇÃO DE CULTURAS



- Milho verão :

0,8 a 1,1 kg N saco⁻¹ após soja no ano anterior

1,1 a 1,2 kg N saco⁻¹ após milho ou sorgo

- Milho safrinha:

0,4 a 0,6 kg N saco⁻¹ (devido ao residual da soja)

INTENSIFICAÇÃO ECOLÓGICA DE SOJA E MILHO NO SUL DO BRASIL: PRODUTIVIDADE E SUBSTITUIÇÃO DE N



Soja



Milho



Trigo



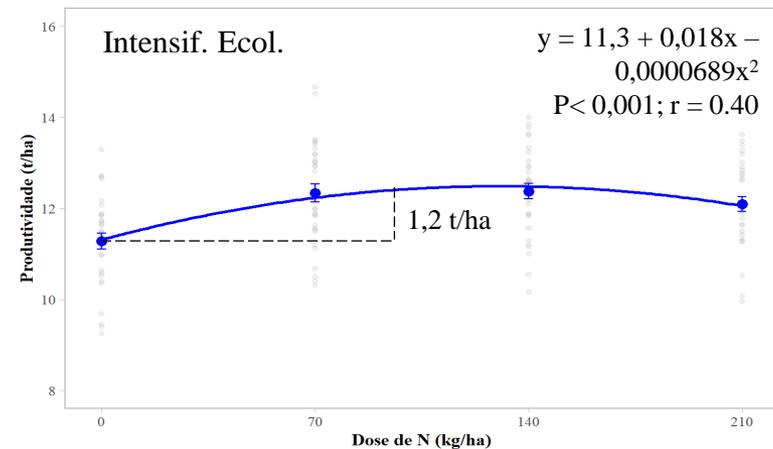
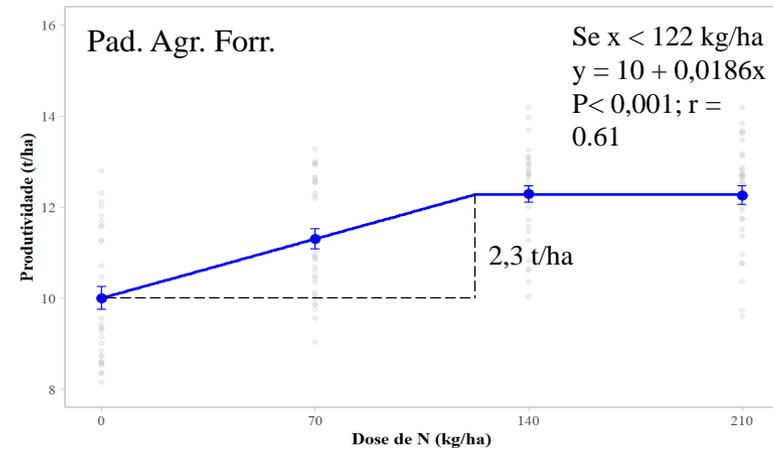
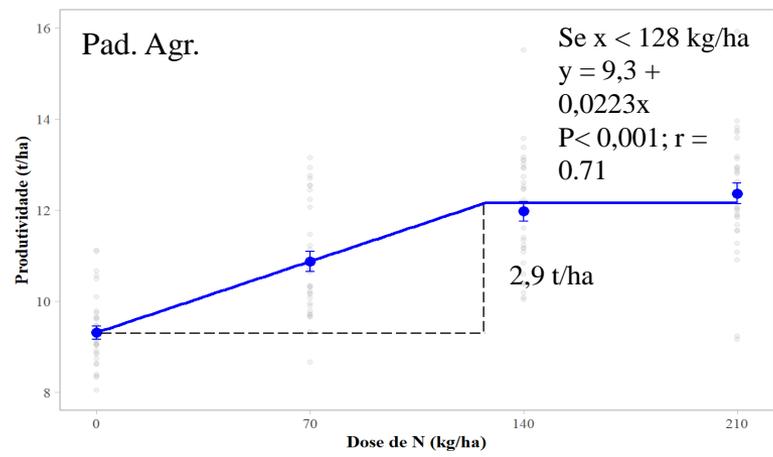
Aveia preta



Azevém



Ervilha





Sem N (aveia preta)



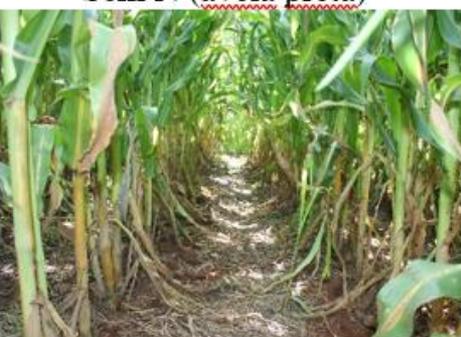
70 kg ha⁻¹ N (aveia preta)



140 kg ha⁻¹ N (aveia preta)



210 kg ha⁻¹ N (aveia preta)



Sem N (ervilha)



70 kg ha⁻¹ N (ervilha)



140 kg ha⁻¹ N (ervilha)



210 kg ha⁻¹ N (ervilha)

Sistema de rotação	“non N effect”	“Total effect”	“N effect”	“N FRV”
	Mg ha ⁻¹			kg ha ⁻¹
Padrão agrícola com forragem	0,12	0,7	0,58	26
Intensificação ecológica	0,30	2,0	1,30	76

6.2 USO DE SUBPRODUTOS

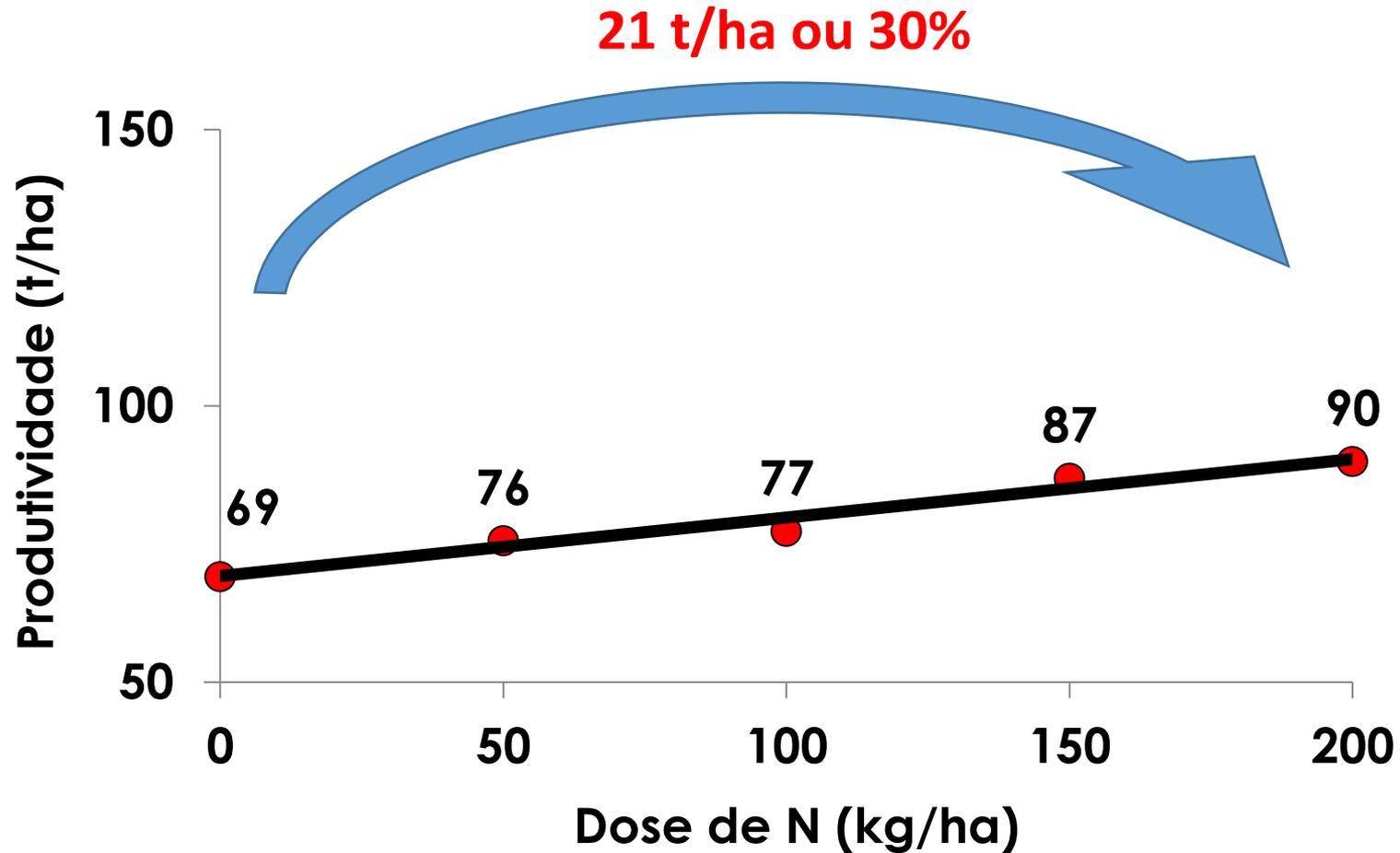
TORTA DE FILTRO



VINHAÇA

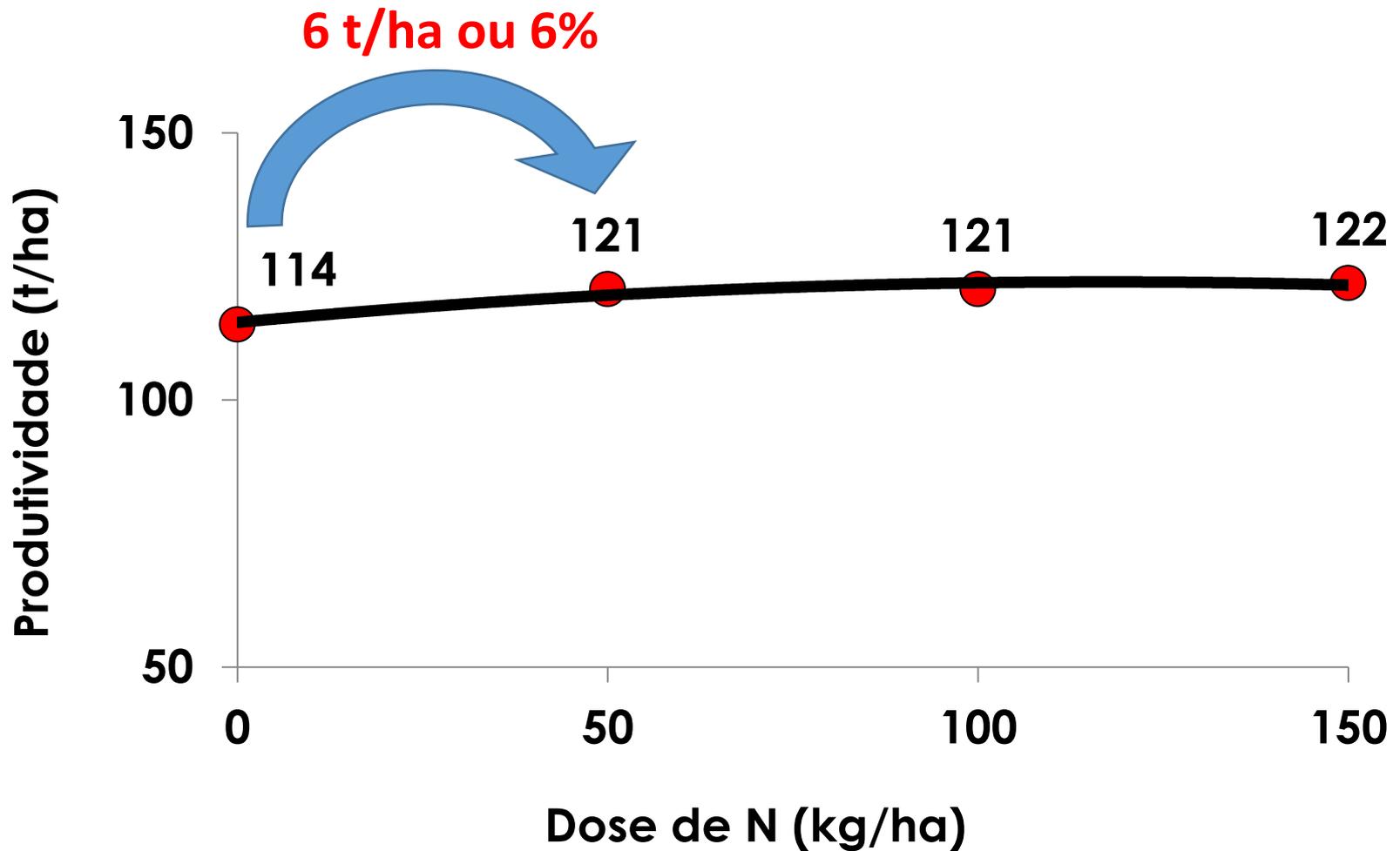


SEM USO DE RESÍDUOS



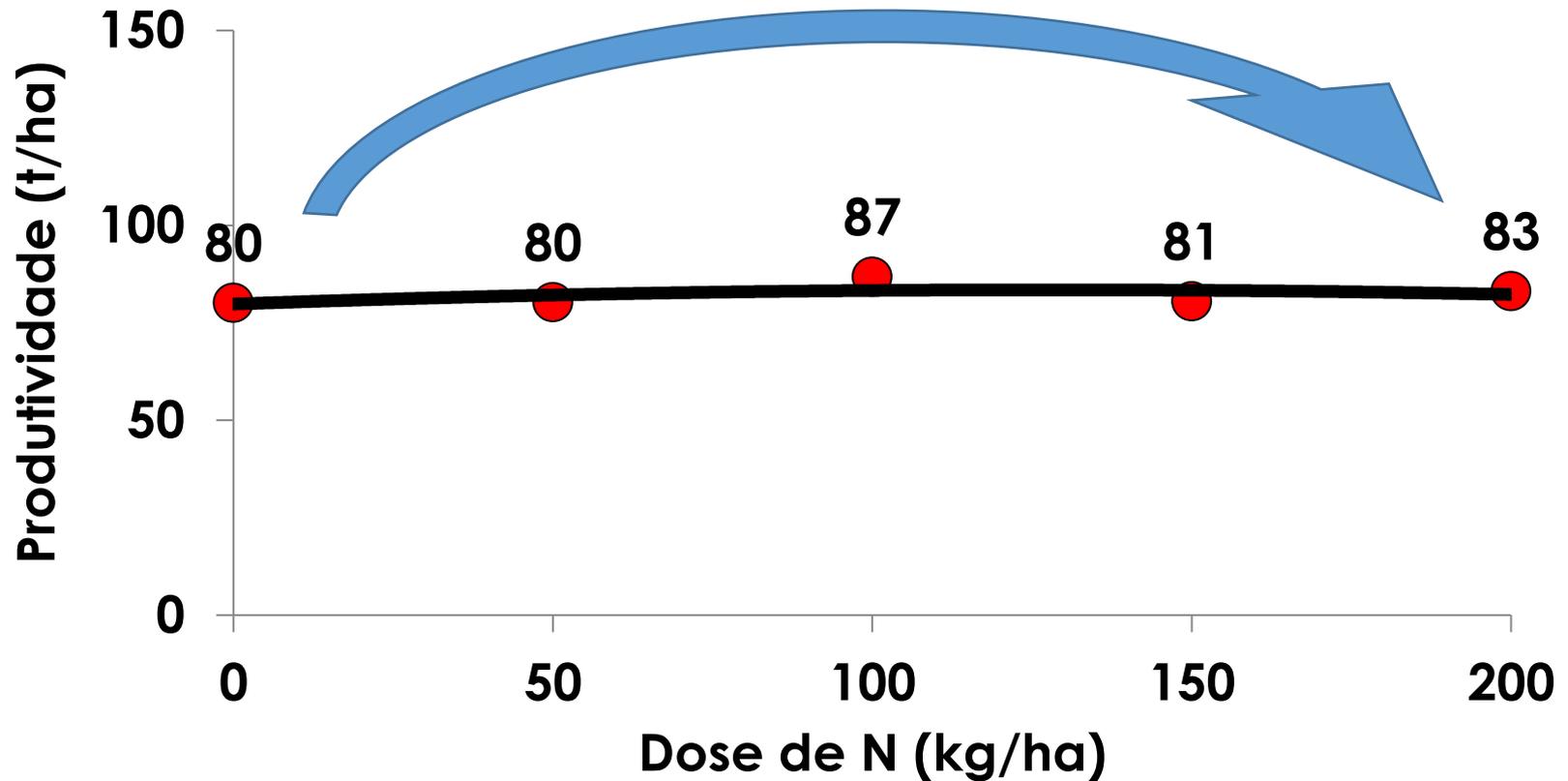
Fonte: Otto et al (2013)

USO DE VINHAÇA



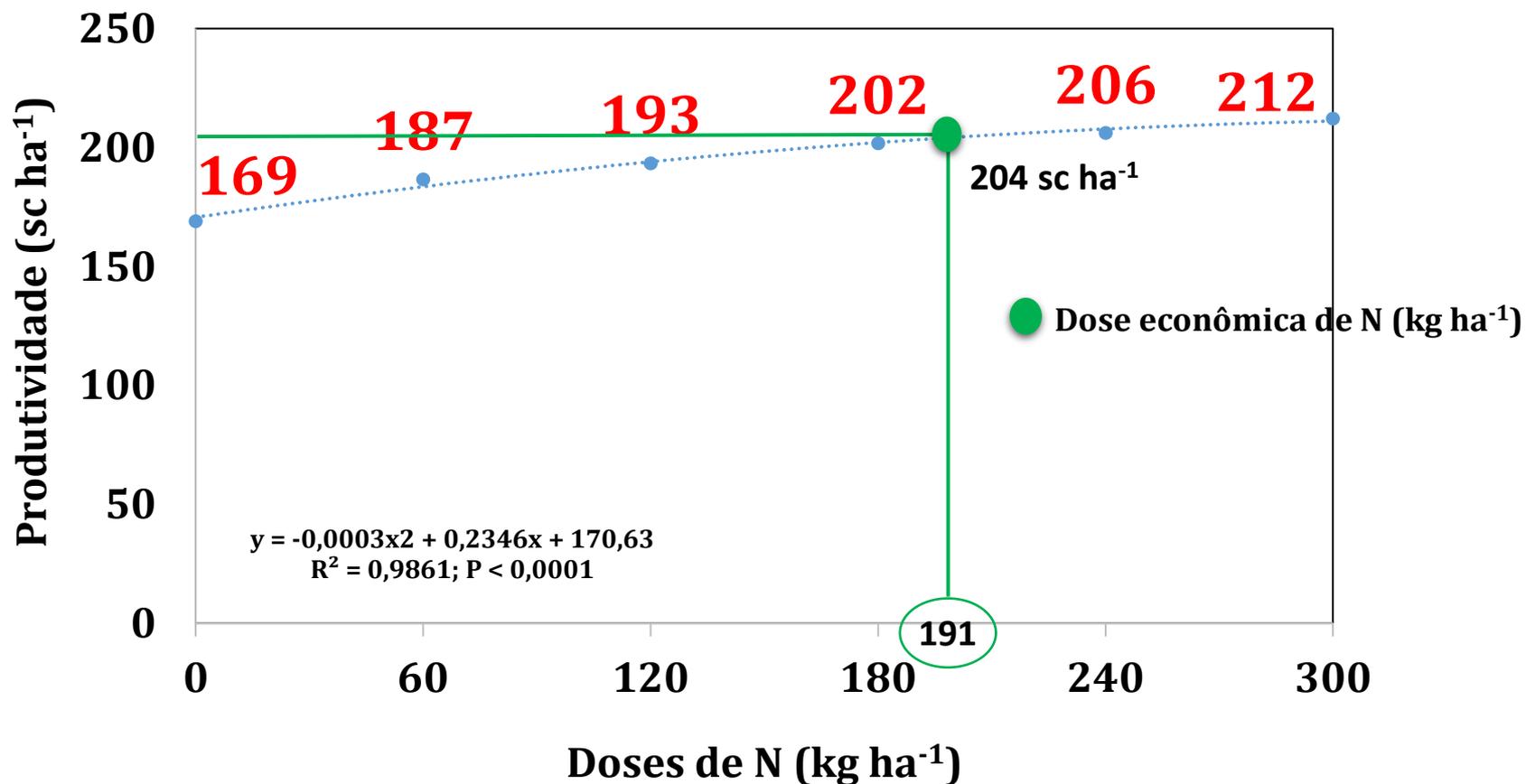
VINHAÇA + TORTA DE
FILTRO NO PLANTIO

Sem aumento

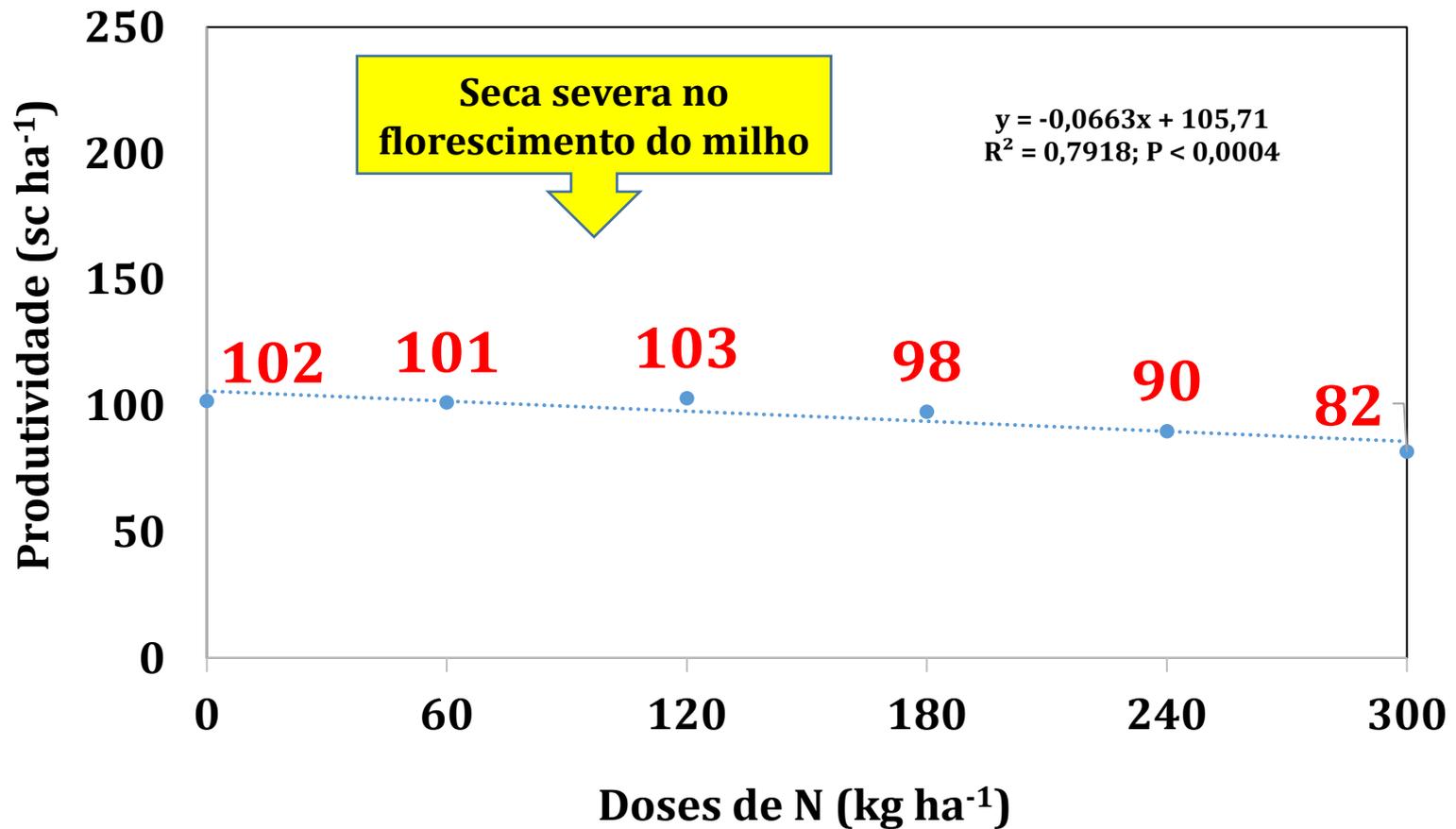


6.3 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

Resposta do milho-safra ao N - SEM RESTRIÇÃO HIDRICA



Resposta do milho-safra ao N - COM RESTRIÇÃO HIDRICA



CONSIDERAÇÕES PARA MANEJO DO NITROGÊNIO

1. Uso de ureia sem incorporação:

- Utilizar inibidores de urease
- Aplicar em solo seco (antes da chuva)

3. Adubação antecipada:

- resultados não promissores
- época de aplicação: fases iniciais do ciclo

4. Fertiliz. liberação lenta:

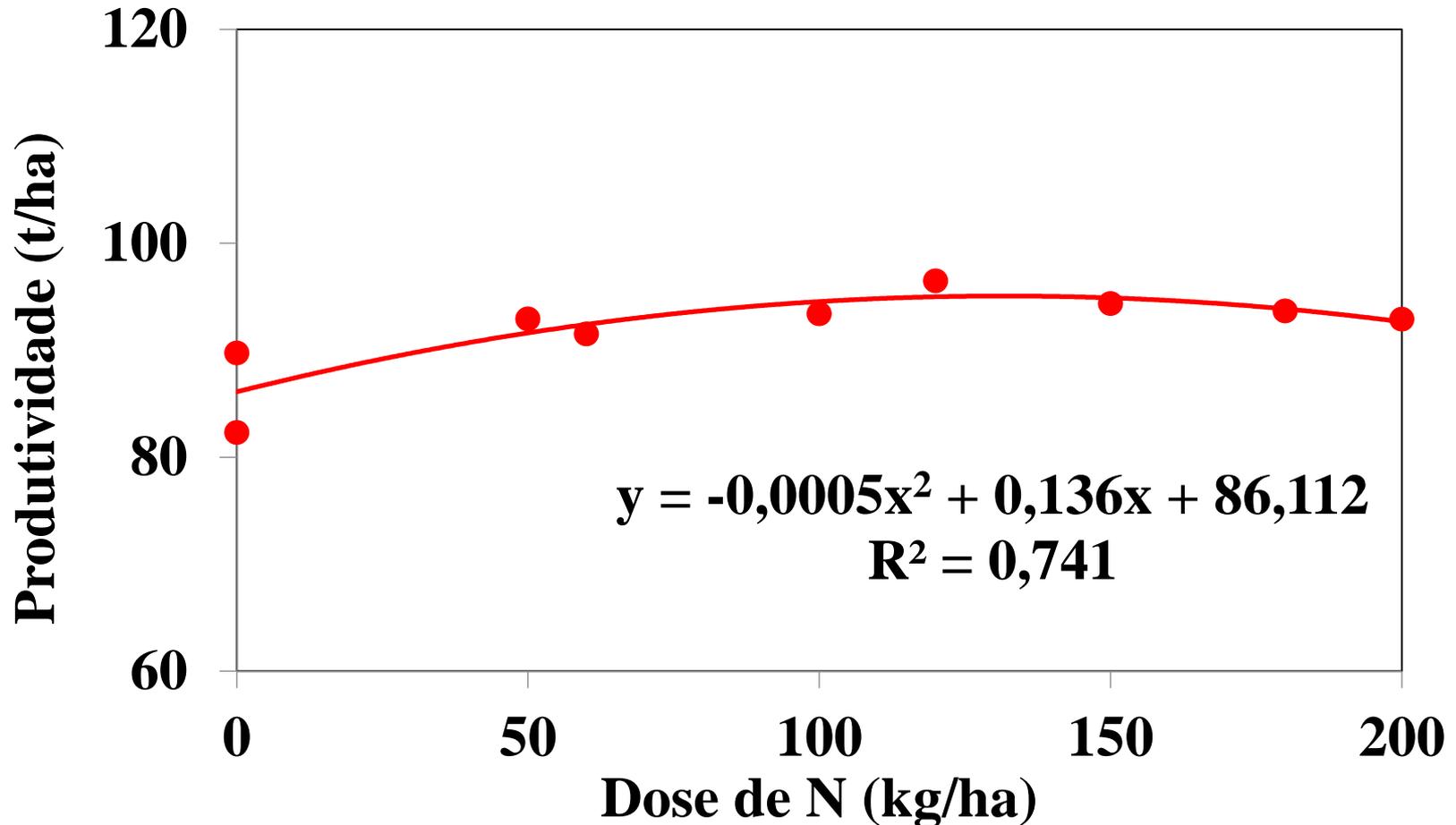
- opção promissora, porém
- alto custo e sujeito a perdas de NH_3

6. Menor resposta ao N:

- Rotação de culturas
- Uso de subprodutos
- Deficiência hídrica

Curva de resposta

**Resposta de soqueira de cana-de-açúcar ao N
(média de 37 experimentos)**



Fonte: Castro e Otto (2013)

COMO CALCULAR A MELHOR DOSE DE N?

Considere a equação da curva:

$$y = a + b x - c x^2$$

$$y = 86,112 + 0,136 x - 0,0005 x^2$$

1) Dose de N que proporciona maior produtividade

- Derive a equação e a iguale a zero

$$\frac{dy}{dx} = b - 2 c x$$

$$\frac{dy}{dx} = 0$$

$$y = 86,112 + 0,136 x - 0,0005 x^2$$

$$0 = 0,136 - (2 * 0,0005 x)$$

$$0,001 x = 0,136$$

$$x \text{ para maior produtividade} = 136 \text{ kg/ha N}$$

COMO CALCULAR A MELHOR DOSE DE N?

2) Dose de N mais econômica

- Derive a equação e a iguale à relação de preço

$$\frac{dy}{dx} = b - 2 c x$$

$$\frac{dy}{dx} = \text{relação de preço}$$

Ureia: R\$1.200,00/t ou R\$2,67/kg

Cana-de-açúcar: R\$ 60,00/t

Relação de preço = $2,67/60 = 0,0445$

$$y = 86,112 + 0,136 x - 0,0005 x^2$$

$$0,0445 = 0,136 - (2*0,0005x)$$

$$0,0445 - 0,136 = - 0,001 x$$

$$- 0,0915 = - 0,001 x$$

X para maior retorno econômico = 92 kg/ha N



Obrigado!

Prof. Dr. Rafael Otto
E-mail: rotto@usp.br
(19) 3417-2104