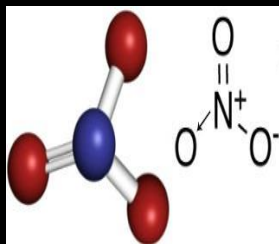


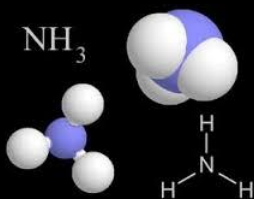


VIII SIMPÓSIO TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR 2017

ABSORÇÃO DE NITROGÊNIO PELA CANA-DE-AÇÚCAR: FORMAS PREFERÊNCIAS E EFICIÊNCIA DE USO DE N-FERTILIZANTES



PAULO CESAR O. TRIVELIN
ENG. AGRÔNOMO E PROFESSOR ASSOCIADO CENA/USP
BEATRIZ NASTARO BOSCHIERO
ENGA. AGRÔNOMA E PÓS-DOC CTBE
ORIEL TIAGO KÖLLN
ENG. AGRÔNOMO - PESQUISADOR CTBE

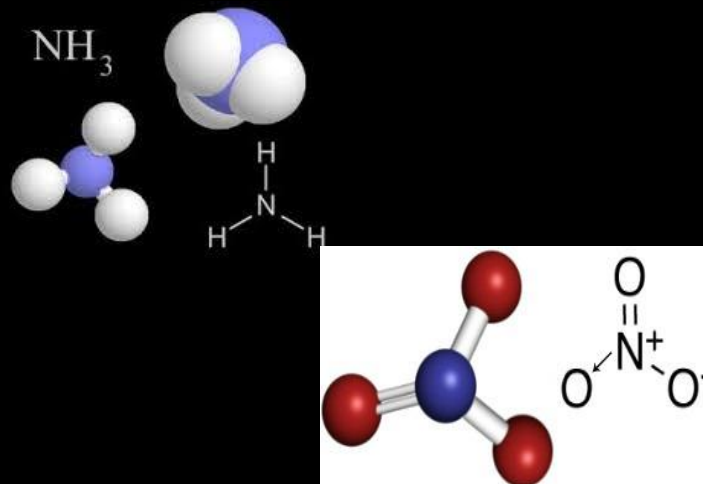


LEGENDA	
Ala	= alanina
Arg	= arginina
Ans	= asparagina
Asp	= ácido aspártico
Glu	= ácido glutâmico
Cis	= cisteína
Fen	= fenilalanina
Gli	= glicina
Gln	= glutamina
His	= histidina
Ile	= isoleucina
Leu	= leucina
Lis	= lisina
Met	= metionina
Pro	= prolina
Ser	= serina
Tir	= tirosina
Tre	= treonina
Trp	= triptofano
Val	= valina



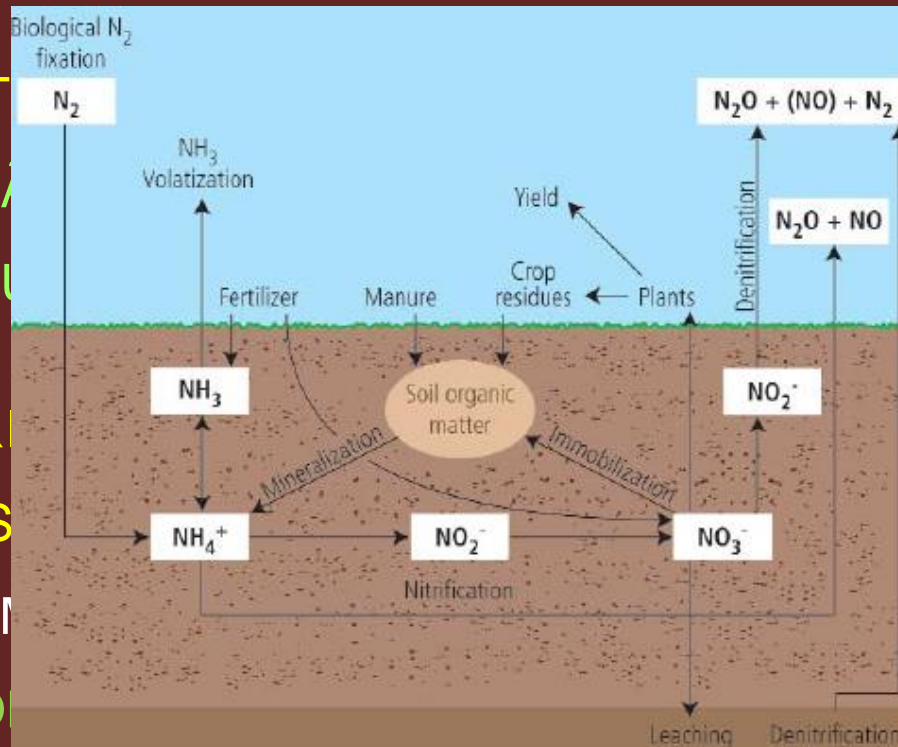
ESTADO DA ARTE

“PREFERÊNCIA” DAS PLANTAS POR NO_3^- E/OU NH_4^+

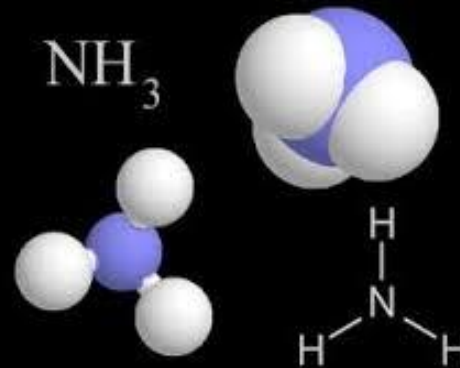
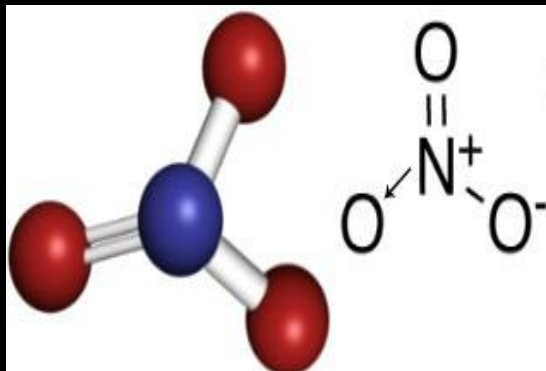
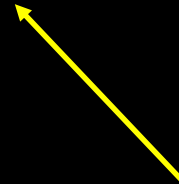
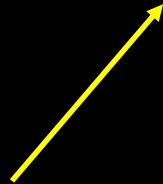


NO MODELO CLÁSSICO DO CICLO O N NOS SOLOS: OS PROCESSOS DE MINERALIZAÇÃO E IMOBILIZAÇÃO MICROBIOLÓGICA GOVERNARAM A DISPONIBILIDADE DO NUTRIENTE ÀS PLANTAS COMO: NH_4^+ E NO_3^-

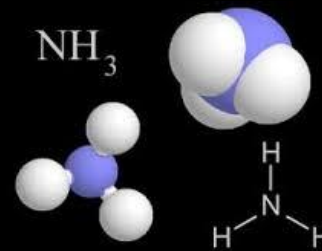
HOJE É ACEITO
DESPOLIMERIZAÇÃO
QUE TEM PAPEL FUNDAMENTAL
A DESPOLIMERIZAÇÃO DE
EXTRACELULARES EM
MONÔMEROS: AMINO
AMPLAMENTE BIOLÓGICOS



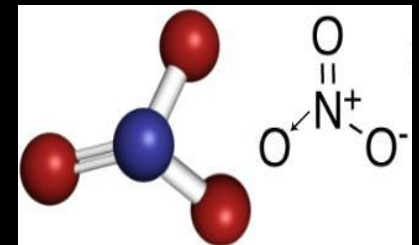
CONCEITUAL: A
NITROGENADOS,
DE ENZIMAS
POLÍMEROS EM
ETC, QUE SÃO
ORGANISMOS

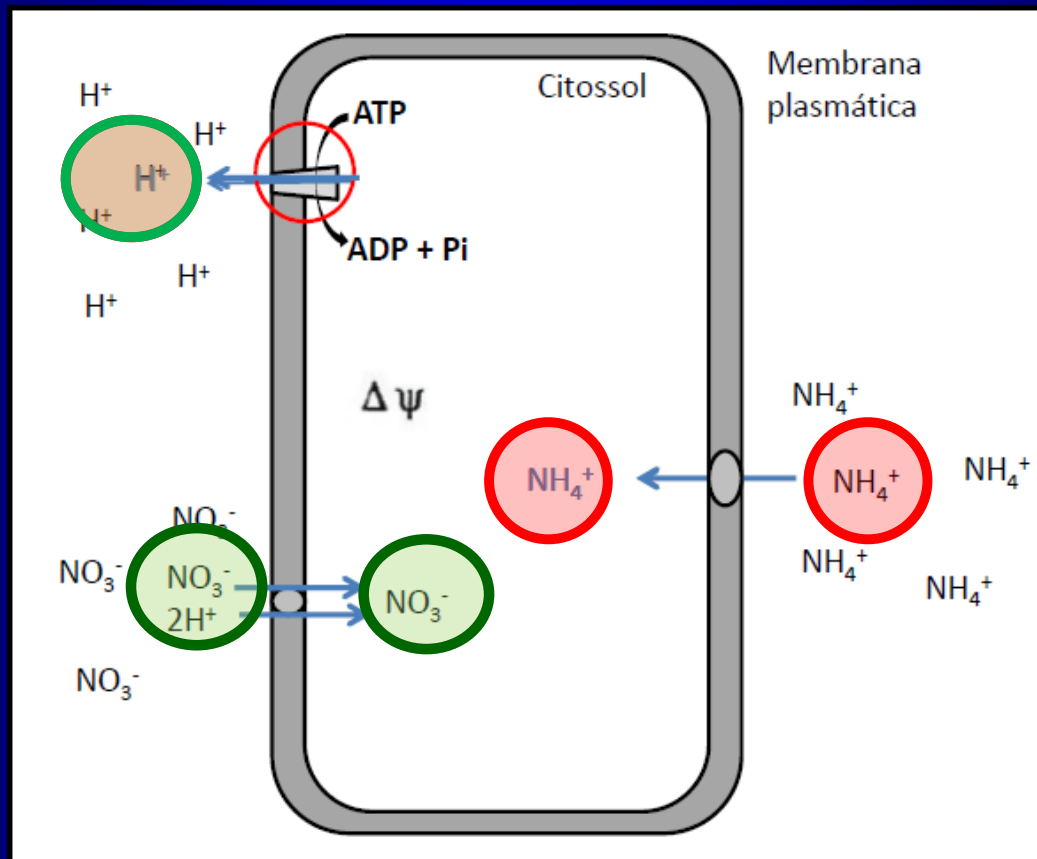


DO PONTO DE VISTA ENERGÉTICO A ABSORÇÃO E A ASSIMILAÇÃO DE N-NH₄⁺ PELOS VEGETAIS CONSOMEM MENOS ENERGIA QUE A ABSORÇÃO E ASSIMILAÇÃO DO N-NO₃⁻



SALSAC et al. (1987)





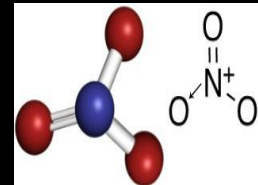
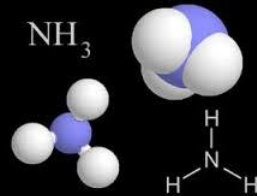
Souza & Fernandes, 2006

A ABSORÇÃO DO NH_4^+ É PASSIVA (SEM GASTO ENERGÉTICO), OCORRE POR UM TRANSPORTADOR DO TIPO UNIORTE, SEGUINDO O GRADIENTE ELETROQUÍMICO ATRAVÉS DA MEMBRANA PLASMÁTICA;

A ABSORÇÃO DO NO_3^- É UM PROCESSO ATIVO SECUNDÁRIO, EM SIMPORTE COM 2 H^+ , CONTRA UM GRADIENTE DE POTENCIAL ELETROQUÍMICO, DEPENDENTE DE ATP PARA QUE A H^+ -ATPASE MANTENHA O POTENCIAL ELETROQUÍMICO ATRAVÉS DA MEMBRANA

O GANHO ENERGÉTICO NA ABSORÇÃO DE NH_4^+
PODE SER UMA VANTAGEM PARA PLANTAS QUE SÃO MAIS
COMPETITIVAS PELA ABSORÇÃO DESSA FORMA MINERAL DE N

Boudsocq et al. (2012)



CASO O NH_4^+ SEJA A ÚNICA FONTE DE N PARA AS PLANTAS, NUM
MEIO QUALQUER, SUA ABSORÇÃO EM EXCESSO PODE CAUSAR
SEVEROS SINTOMAS DE TOXIDEZ, QUE PODEM SE CONTRAPOR ÀS
VANTAGENS ENERGÉTICAS DA ABSORÇÃO DESSA FONTE DE N

Boudsocq et al. (2012)

A ABSORÇÃO DE AMÔNIO EM ELEVADAS QUANTIDADES CAUSA EFEITO NEGATIVO NO CRESCIMENTO DAS PLANTAS (TOXIDEZ POR AMÔNIO) DEVIDO AOS MECANISMOS CITADOS NA LITERATURA:

MODERNAMENTE

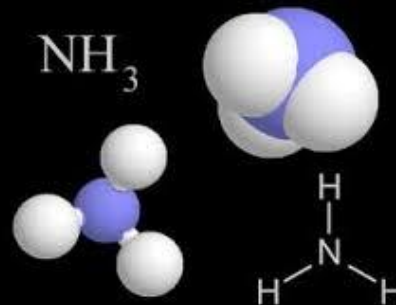
(Esteban et al., 2016, citado por Nastaro-Boschiero, 2017)

O ACÚMULO DE NH_4^+ NAS CÉLULAS

E

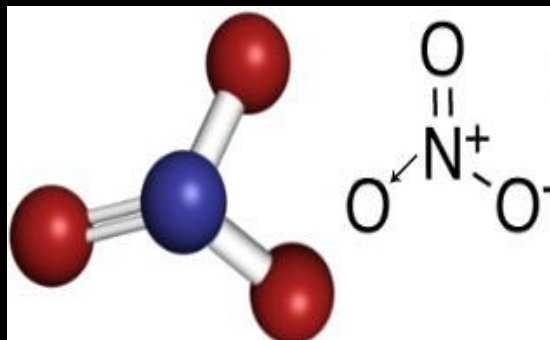
O DESBALANÇO DE NUTRIENTES

SÃO AS PRINCIPAIS CAUSAS DA TOXIDEZ DE AMÔNIO CAUSADAS PELA NUTRIÇÃO AMONÍACAL



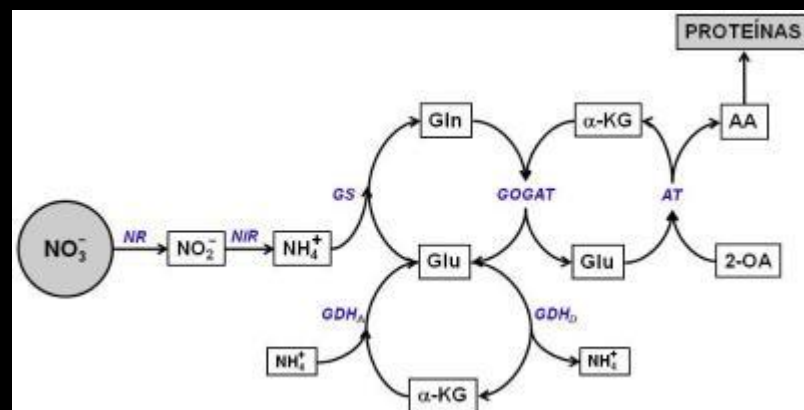
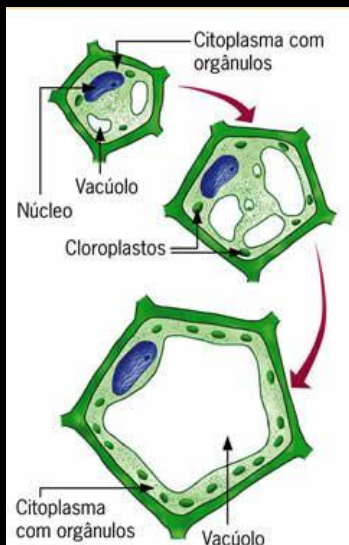
AS PLANTAS POSSUEM, NORMALMENTE, ALTAS EXIGÊNCIAS POR K^+ E Ca^{2+} , ALÉM DE OUTROS CÁTIONS, E A ABSORÇÃO DE NO_3^- PODE RESULTAR EM UM EQUILÍBRIO DE CARGAS MAIS UNIFORME PARA AS PLANTAS, QUE A ABSORÇÃO EXCLUSIVA DE NH_4^+

Boudsocq et al. (2012)



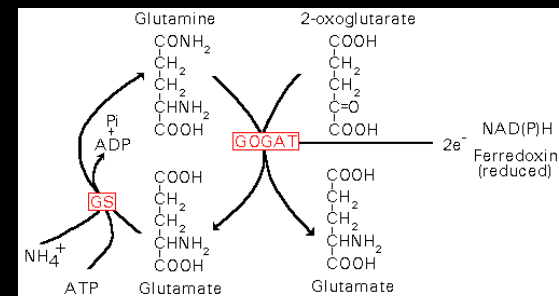
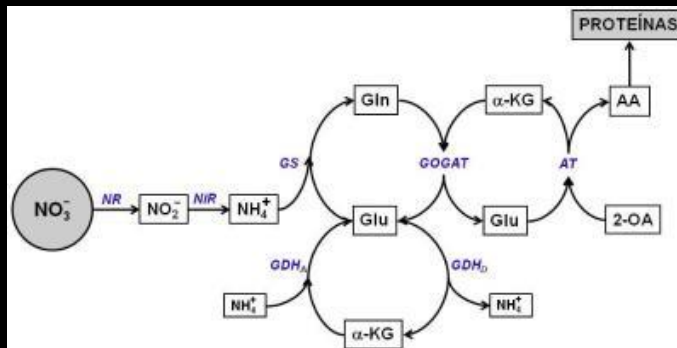
APÓS SER ABSORVIDO, O NO_3^- PODE SER ASSIMILADO OU
ARMAZENADO NAS RAÍZES DAS PLANTAS, OU SER LIBERADO AOS
VASOS DO XILEMA E TRANSPORTADO PELO FLUXO TRANSPIRATÓRIO
ATÉ AS FOLHAS, ONDE SERÁ REDUZIDO E ASSIMILADO OU
ARMAZENADO NO VACÚOLO CELULAR

Andrews, Raven, Lea (2013) citados por Nastaro-Boschiero (2017)



O NO_3^- QUANDO ABSORVIDO EM EXCESSO
 NORMALMENTE PODE SER ARMAZENADO NO VACÚOLO
 CELULAR, ENQUANTO O NH_4^+ NÃO O É, DEVENDO SER
 IMEDIATAMENTE ASSIMILADO PELA GS/GOGAT

Andrews, Raven, Lea (2013) citados por Nastaro-Boschiero (2017)

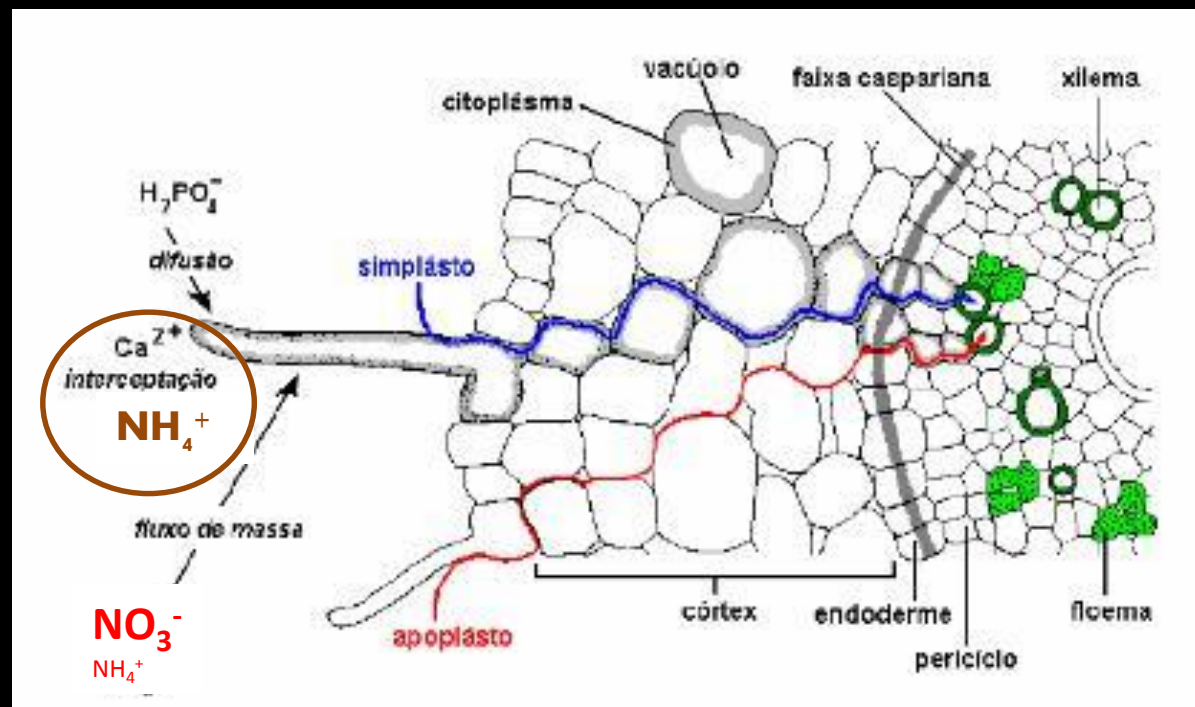


The Glutamate Synthase Cycle Lea *et al* (1992)

This pathway was termed the glutamate synthase cycle by Rhodes *et al* (1980). [Rhodes D, Sims AP, Folkes BF (1980) Pathway of ammonia assimilation in illuminated *Lemna minor*. Phytochemistry 19:357-365.]

O NH_4^+ NO SOLO É FREQUENTEMENTE ADSORVIDO EM COMPLEXOS ORGANO-MINERAIS ONDE FICA RETIDO

POR ISSO, AS RAÍZES TÊM QUE IR AO “ENCONTRO” DESSA FORMA DE N-MINERAL, E A ABSORÇÃO NESSE CASO SE DÁ POR CONTATO DAS RAÍZES COM O CÁTION

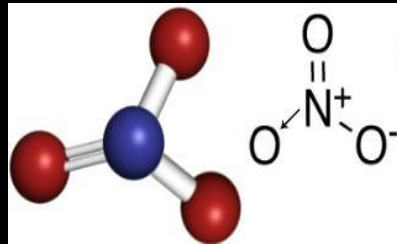


A CARGA NEGATIVA DO NO_3^- TORNA ESSA FORMA MUITO MAIS MÓVEL NO SOLO E, PORTANTO, MAIS PROPENSA ÀS PERDAS POR PERCOLAÇÃO E RELATIVAMENTE AO NH_4^+ , MENOS DISPONÍVEL PARA AS PLANTAS

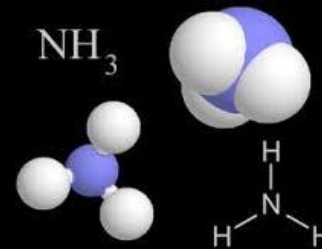
DEVIDO A MOBILIDADE DO NO_3^- A SUA ABSORÇÃO SE DÁ POR FLUXO DE MASSA (ARRASTE DE NO_3^- JUNTO COM A SOLUÇÃO DO SOLO NA ABSORÇÃO DE ÁGUA E NUTRIENTES PELOS VEGETAIS)



O CUSTOS ENERGÉTICOS-FISIOLÓGICOS E AS LIMITAÇÕES FÍSICAS DAS FORMAS MINERAIS DE N NO SOLO LIMITAM A ESTRATÉGIA DAS PLANTAS NA OBTENÇÃO DE N-MINERAL EM DIREÇÕES OPOSTAS E PODEM, ASSIM, IMPOR UMA RELAÇÃO DE COMPROMISSO ENTRE À ABSORÇÃO DAS DUAS FORMAS MINERAIS DE N



BOUDSOCQ et al. (2012)



EXISTEM PLANTAS COM PREFERÊNCIA PELA ABSORÇÃO DE NITRATO, E EM MEIO COM ABUNDÂNCIA DE NH_4^+ PODEM APRESENTAR TOXIDEX PELO AMÔNIO;

PLANTAS QUE PREFEREM NH_4^+ PODEM TER UM SISTEMA DE ABSORÇÃO E ASSIMILAÇÃO DE NO_3^- “ATROFIADO” EM CONDIÇÕES DO MEIO COM ABUNDÂNCIA DE NITRATO

Kronzucker et al. (1997) citados por Nastaro-Boschiero (2017)



ALGUMAS ESPÉCIES DE PLANTAS SÃO CAPAZES DE **INIBIR OU ESTIMULAR** A NITRIFICAÇÃO NO SOLO ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$) QUE NORMALMENTE OCORRE POR AÇÃO MICROBIOLÓGICA

ALTERANDO A QUANTIDADE RELATIVA DE NH_4^+ E NO_3^- DISPONÍVEIS PARA A SUA PRÓPRIA NUTRIÇÃO EM N, BEM COMO PARA A NUTRIÇÃO COM N-MINERAL DE ESPÉCIES CONCORRENTES

BOUDSOCQ et al. (2012)



ATUALMENTE, MUITOS TRABALHOS VÊM ABORDANDO A IMPORTÂNCIA DE SE DISTINGUIR E CONHECER AS FORMAS INORGÂNICAS “PREFERENCIAIS” DE N ABSORVIDAS PELAS PLANTAS, UMA VEZ QUE ESSE CONHECIMENTO POSSIBILITARÁ MANEJOS DIFERENCIADOS QUE PODERÃO INFLUENCIAR DIRETAMENTE NO METABOLISMO, CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE CULTURAS AGRÍCOLAS.



NUTRIÇÃO DE NITROGENADA DA CANA-DE-AÇÚCAR

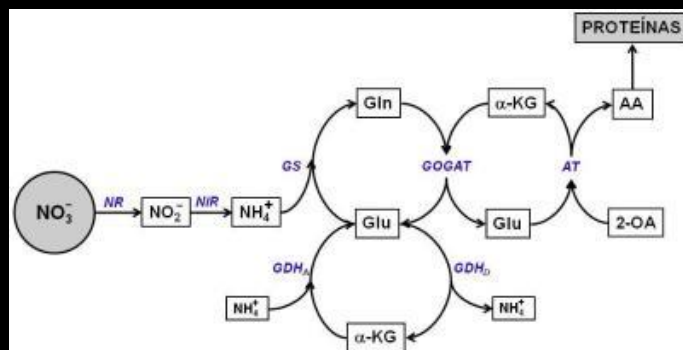
A CANA-DE-AÇÚCAR PREFERE NH_4^+ AO NO_3^- ?

EFICIÊNCIA DE USO DE N-FERTILIZANTES PELA
CANA-DE-AÇÚCAR

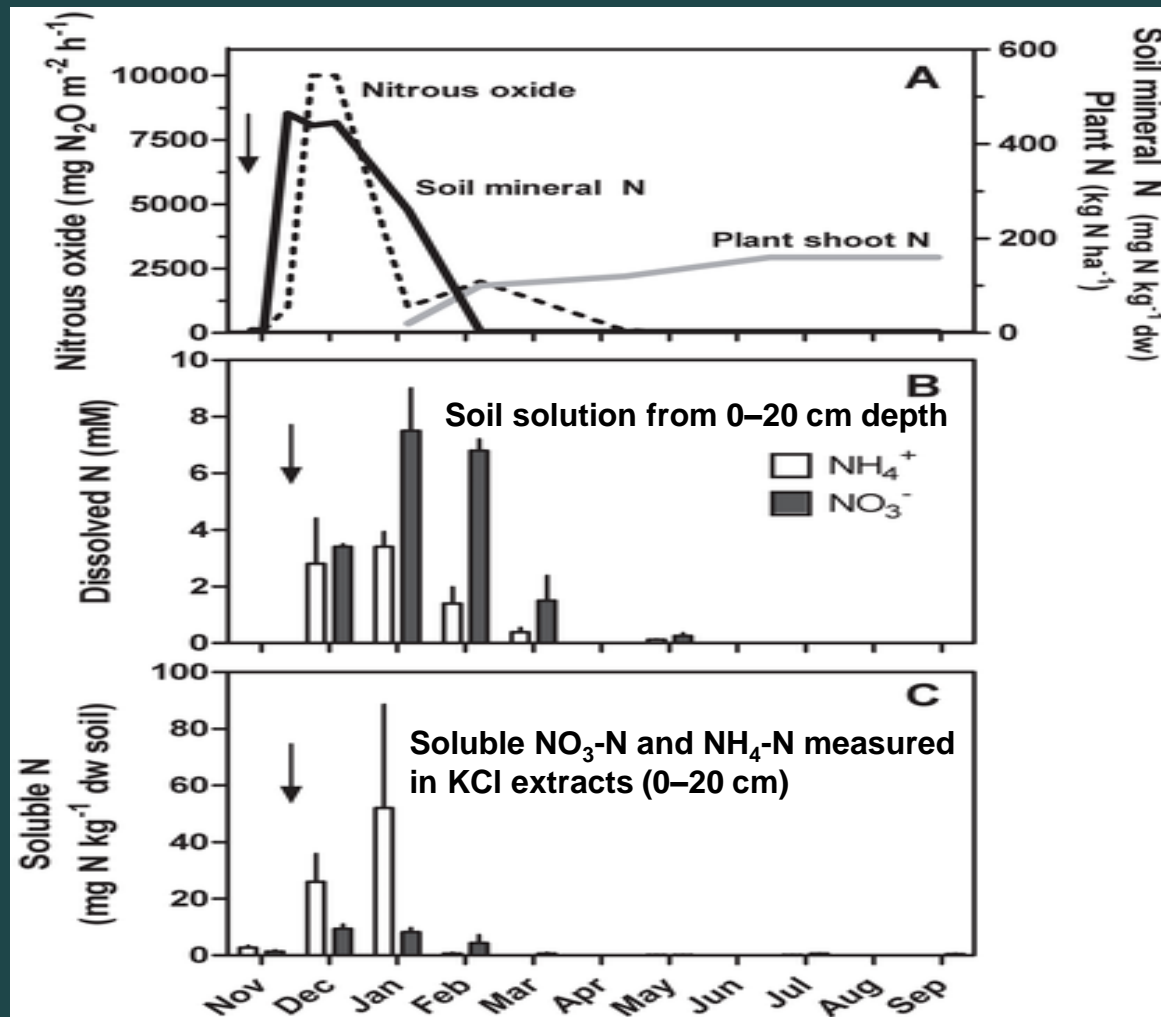


A ABSORÇÃO DO AMÔNIO PODERIA FAVORECER O CRESCIMENTO INICIAL DA CANA-DE-AÇÚCAR, VISTO QUE GRANDES QUANTIDADES DE RAÍZES SE DESENVOLVEM SUPERFICIALMENTE SOB E NO INTERIOR DA CAMADA DE PALHA QUE RECOBRE A SUPERFÍCIE DO SOLO NOS CANAVIAIS

KÖLLN (2016)



N AVAILABILITY THROUGHOUT THE CROP CYCLE*



Robinson N, Brackin R, Vinall K, Soper F, Holst J, et al. (2011) Nitrate Paradigm Does Not Hold Up for Sugarcane. PLOS ONE 6(4): e19045. doi:10.1371/journal.pone.0019045

* Sugarcane fertilized with urea at 110 kg N ha⁻¹ as indicated by the arrow

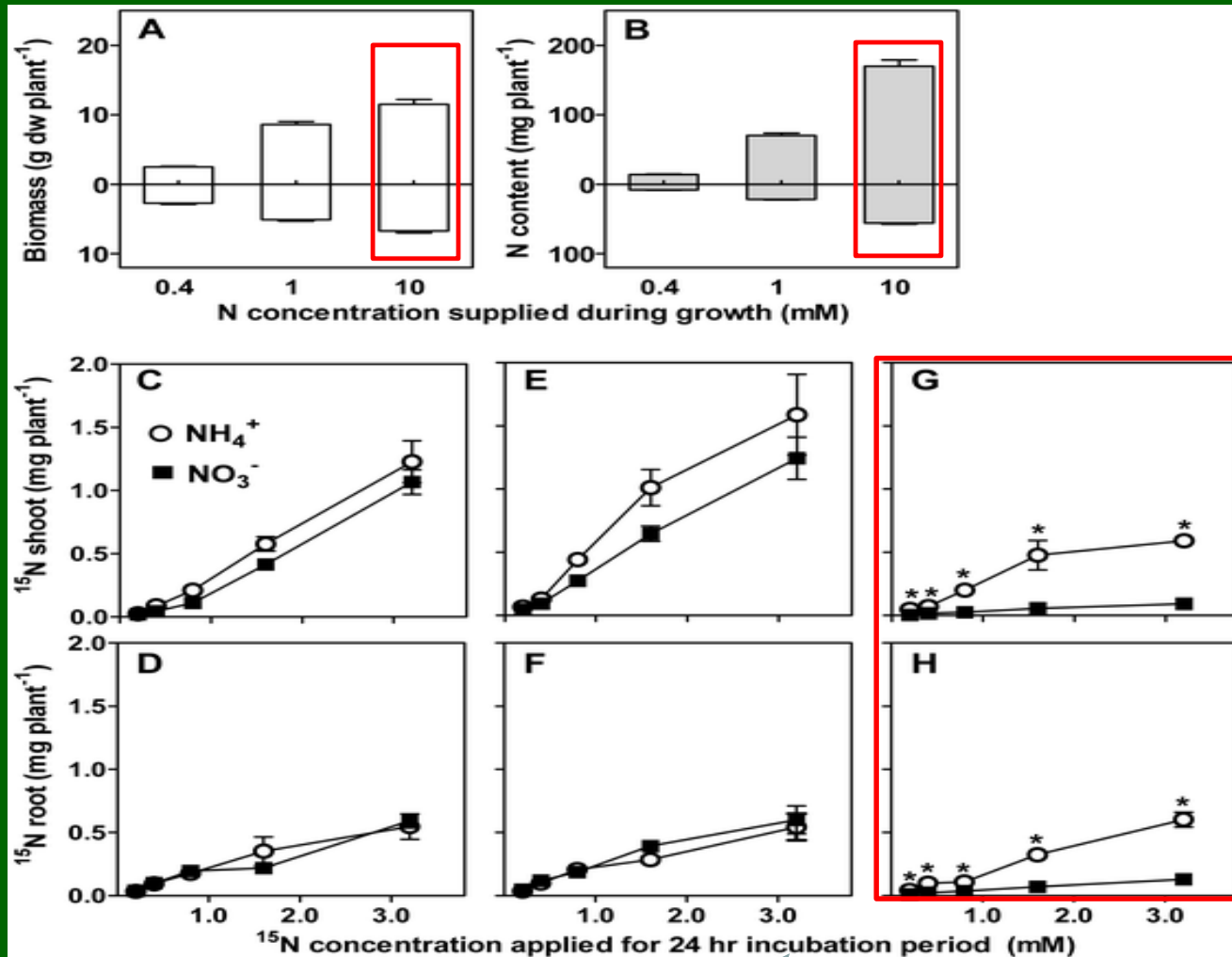
ROBINSON et al. (2011) LEVANTARAM A HIPÓTESE QUE:

A CANA-DE-AÇÚCAR TEM PREFERÊNCIA POR NH_4^+ QUE RESULTA EM BAIXA CAPACIDADE DE USO DE NO_3^- DURANTE OS PERÍODOS DE ELEVADA DISPONIBILIDADE DE N NO SOLO

ESSA DISCRIMINAÇÃO DO NITRATO CONTRIBUI PARA O ACÚMULO DO ÂNION NO SOLO QUE RESULTA EM SUBSEQUENTES PERDAS DE N (PERDAS GASOSAS: N_2 E NO_2 , E POR LIXIVIAÇÃO DO NO_3^-)



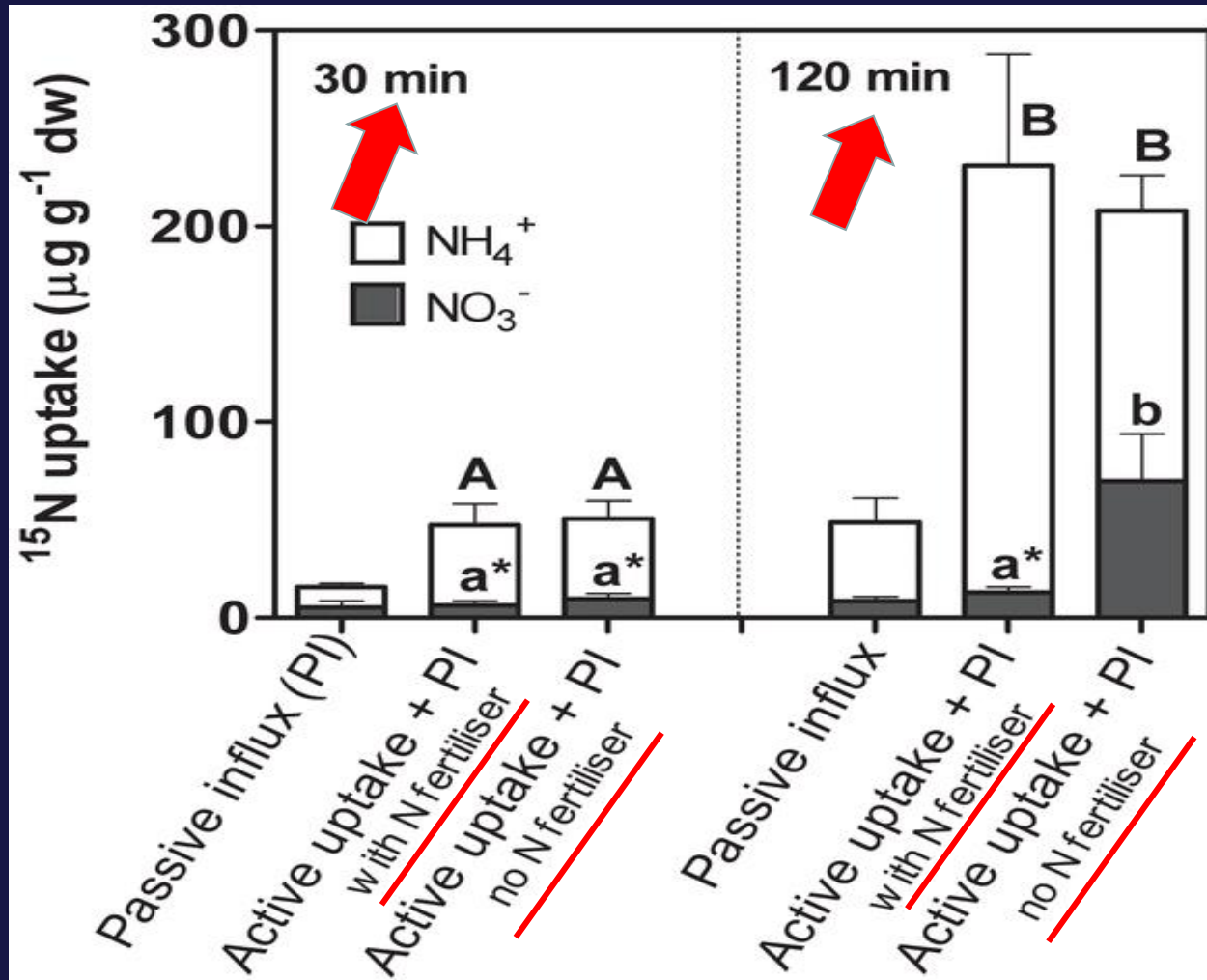
NITRATE AND AMMONIUM UPTAKE WITH INCREASING N SUPPLY



* Indicate significance difference between ¹⁵N uptake for NH₄⁺ and NO₃⁻ at P<0.05

(Fonte: Robinson et al., 2011)

NITRATE AND AMMONIUM UPTAKE INTO INTACT ROOTS



With fertiliser: $140 \text{ kg urea N ha}^{-1}$; No fertiliser: control without N

A,a indicate significance difference between fertilized and unfertilized uptake for NH_4^+ and NO_3^- ; * indicate significance difference between fertilised and unfertilised uptake for NH_4^+ and NO_3^- at $P < 0.05$

(Fonte: Robinson et al., 2011)

OS RESULTADOS DE **ROBINSON et al. (2011)** INDICARAM QUE OS HÍBRIDOS DE CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADOS NA AUSTRÁLIA, COM ADEQUADA NUTRIÇÃO NITROGENADA, DISCRIMINAVAM O NITRATO EM FAVOR À ABSORÇÃO DO AMÔNIO.

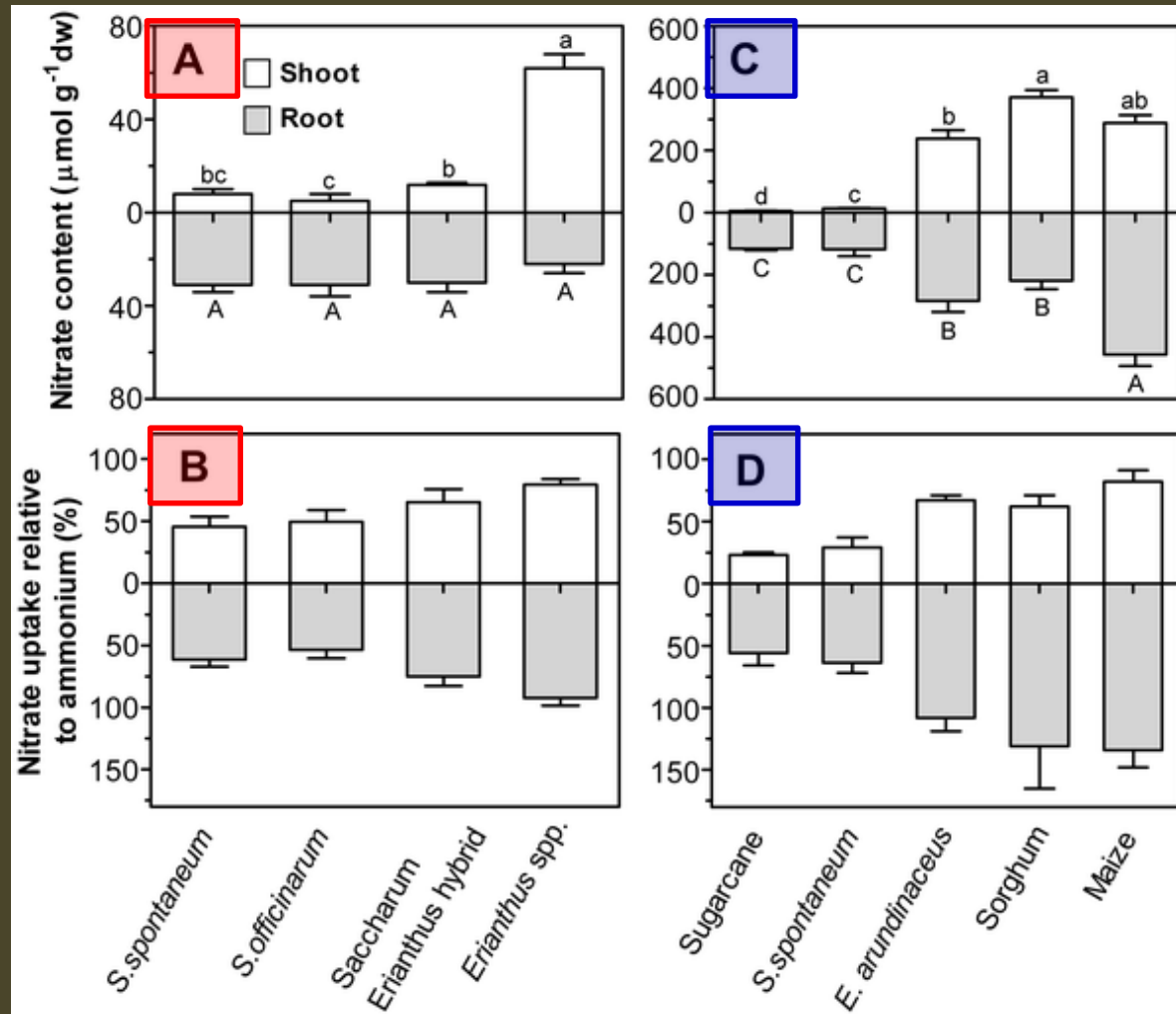
PARA REDUZIDA NUTRIÇÃO NITROGENADA DA CANA-DE-AÇÚCAR NÃO FOI OBSERVADA A “PREFERÊNCIA” PELO AMÔNIO OU NITRATO




ROBINSON et al (2011) CONCLUÍRAM QUE:
SOMENTE PLANTAS COM REDUZIDA NUTRIÇÃO NITROGENADA
PODEM APROVEITAR O NO_3^- EM TAXAS SIMILARES AS DE NH_4^+
DEVIDO À PROVÁVEL INDUÇÃO DOS TRANSPORTADORES DE
NITRATO ATRAVÉS DAS MEMBRANAS PLASMÁTICA NAS RAÍZES DE
CANA-DE-AÇÚCAR



NITRATE USE ACROSS ANDROPOGONEAE SUPERTRIBE



A and B: The N-replete plants received equimolar $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ /ammonium/nitrate for 24 h. 

C and D: Uptake of nitrate and ammonium was assessed with $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ /ammonium/nitrate solutions over a shorter period (2 h) 

(Fonte: Robinson et al., 2011)

ROBINSON et al (2011) CONSTARAM QUE:

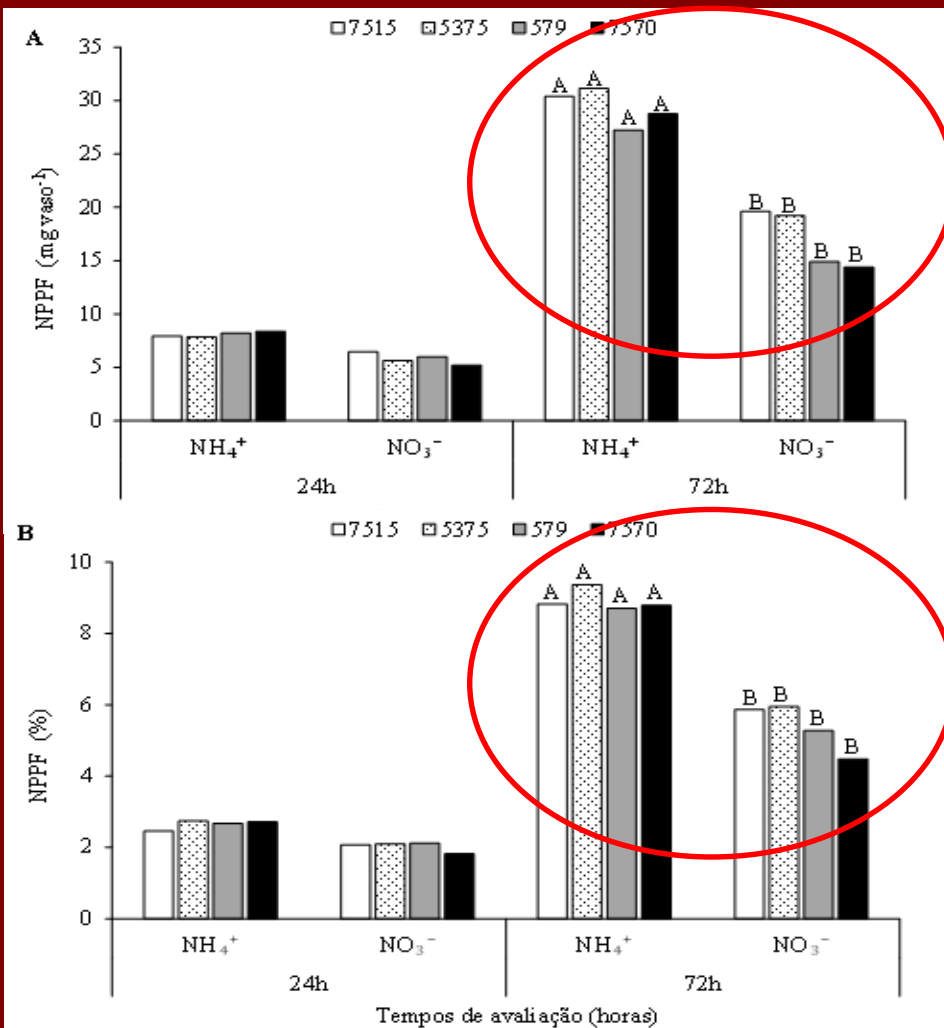
**ESPÉCIES DE SACCHARUM POSSUÍAM BAIXA CAPACIDADE DE
ARMAZENAR NITRATO NA PARTE AÉREA**

**O NITRATO FOI O MENOR CONTRIBUINTE RELATIVAMENTE AO
AMÔNIO PARA AS ESPÉCIES SACCHARUM**

**A HABILIDADE DE ABSORVER E ARMAZENAR NO_3 DIFERIA ENTRE A
CANA-DE-AÇÚCAR E OUTRAS CULTURAS DE GRÃOS.**

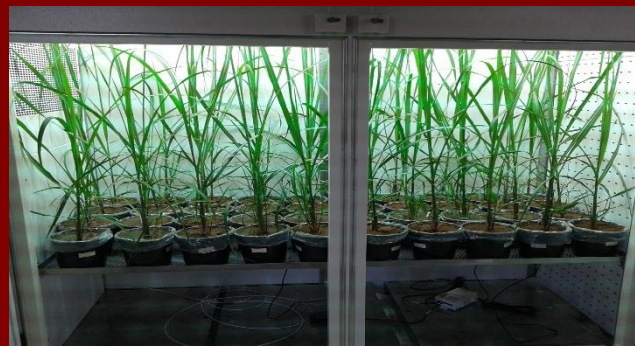


Köln (2016)



Experimento em vasos contendo solo colhido da camada 0-20 cm de local de cultivo de cana-de-açúcar

Genótipos/Respostas a EUN segundo Köln (2016):
 RB975375: Ef. e Resp.
 RB935570: Ef. e Ñ. Resp.
 RB867515: Ñ Ef. e Resp.
 RB92579: Ñ Ef. e Ñ. Resp.



NITROGÊNIO NA PLANTA PROVENIENTE DO FONTE: ¹⁵NH₄⁺ OU ¹⁵NO₃⁻ (NPPF) EM mg vaso⁻¹ (A); NITROGÊNIO NA PLANTA PROVENIENTE DO FONTE MINERAL (NPPF) EM % DO N NA PLANTA (B), EM DOIS TEMPOS (24 E 72 H), PARA GENÓTIPOS CONTRASTANTES NA EUN.

A PESQUISA DE **KÖLLN (2016)** CONFIRMOU OS RESULTADOS DE **ROBINSON et al. (2011)** SOBRE A PREFERÊNCIA DA CANA-DE-AÇÚCAR (*SACCHARUM spp.*) PELA ABSORÇÃO DE AMÔNIO EM RELAÇÃO AO NITRATO **NAS PRIMEIRAS HORAS APÓS A DISPONIBILIZAÇÃO DAS FORMAS MINERAIS À PLANTA.**

Uso Prático: POSSIBILIDADE DE SE ADUBAR A CULTURA COM FONTES AMÍDICO - AMONIACAIS A FIM DE MELHORAR O APROVEITAMENTOS DO N PELA CANA-DE-AÇÚCAR, **MESMO CONSIDERANDO-SE QUE APÓS CURTO PERÍODO DE TEMPO O NH_4^+ NO SOLO PODE SE TRANSFORMAR EM NO_3^- .**

Uso Prático: POSSIBILIDADE DE EMPREGO DE INIBIDORES DE NITRIFICAÇÃO A FIM DE PROPICIAR MAIOR TEMPO DE RESIDÊNCIA DO AMÔNIO NO SOLO E CONTRIBUIR PARA AUMENTAR A EFICIÊNCIA DE USO DE N PELA CANA-DE-AÇÚCAR.

ALGUMAS PLANTAS SÃO CAPAZES DE INIBIR A NITRIFICAÇÃO MICROBIOLÓGICA NO SOLO ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$) ALTERANDO A RELAÇÃO N-AMÔNIO E N-NITRATO DISPONÍVEL ÀS PLANTAS

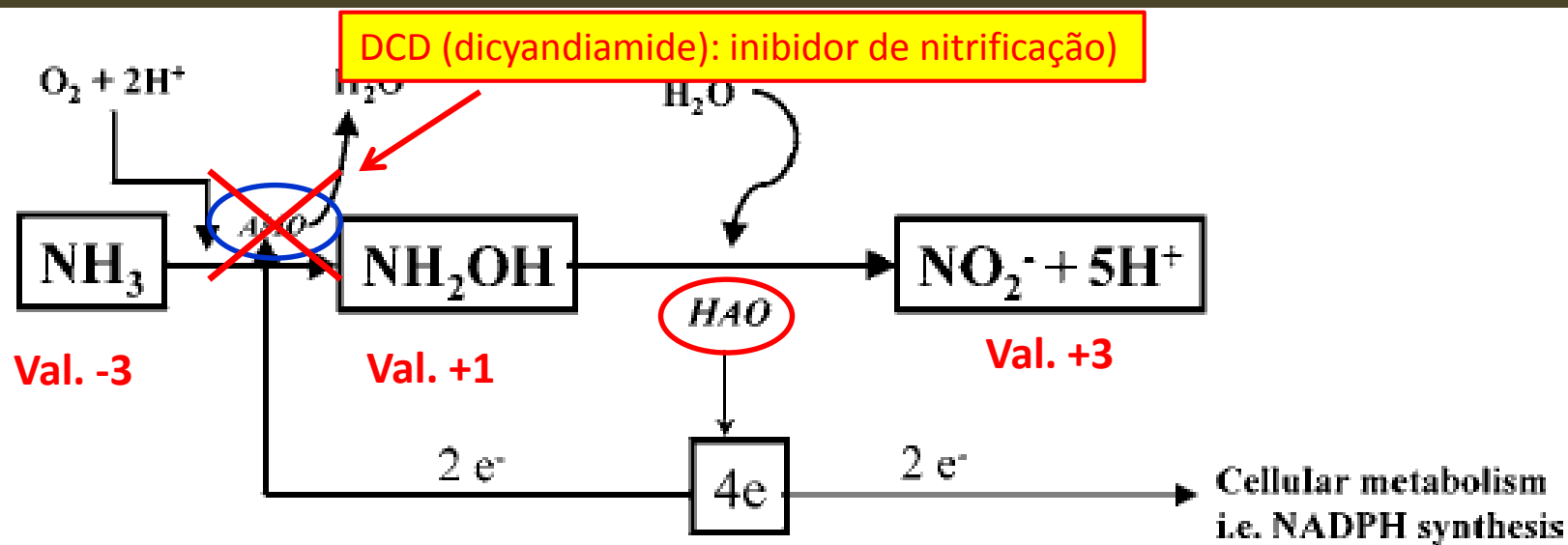


FIG. 3. Enzymatic reactions catalyzed by ammonia monooxygenase and hydroxylamine oxidoreductase in *Nitrosomonas europaea* (adapted from McCarty, 1999).

HÁ EVIDÊNCIAS DE QUE A INIBIÇÃO DA NITRIFICAÇÃO OCORRE
NATURALMENTE EM SOLOS NÃO CULTIVADOS OU AGRICULTÁVEIS, DESDE
QUE CERTAS ESPÉCIES LIBERAM NO SOLO COMPOSTOS COM AÇÃO
INIBITÓRIA DA NITRIFICAÇÃO

ALGUMAS ESPÉCIES DE BRACHIÁRIAS PRODUZEM E LIBERAM NO SOLO
TAIS COMPOSTOS QUE FORAM DENOMINADOS DE BRAQUIOLACTANAS

(Fonte: Subbarao et al, 2006)

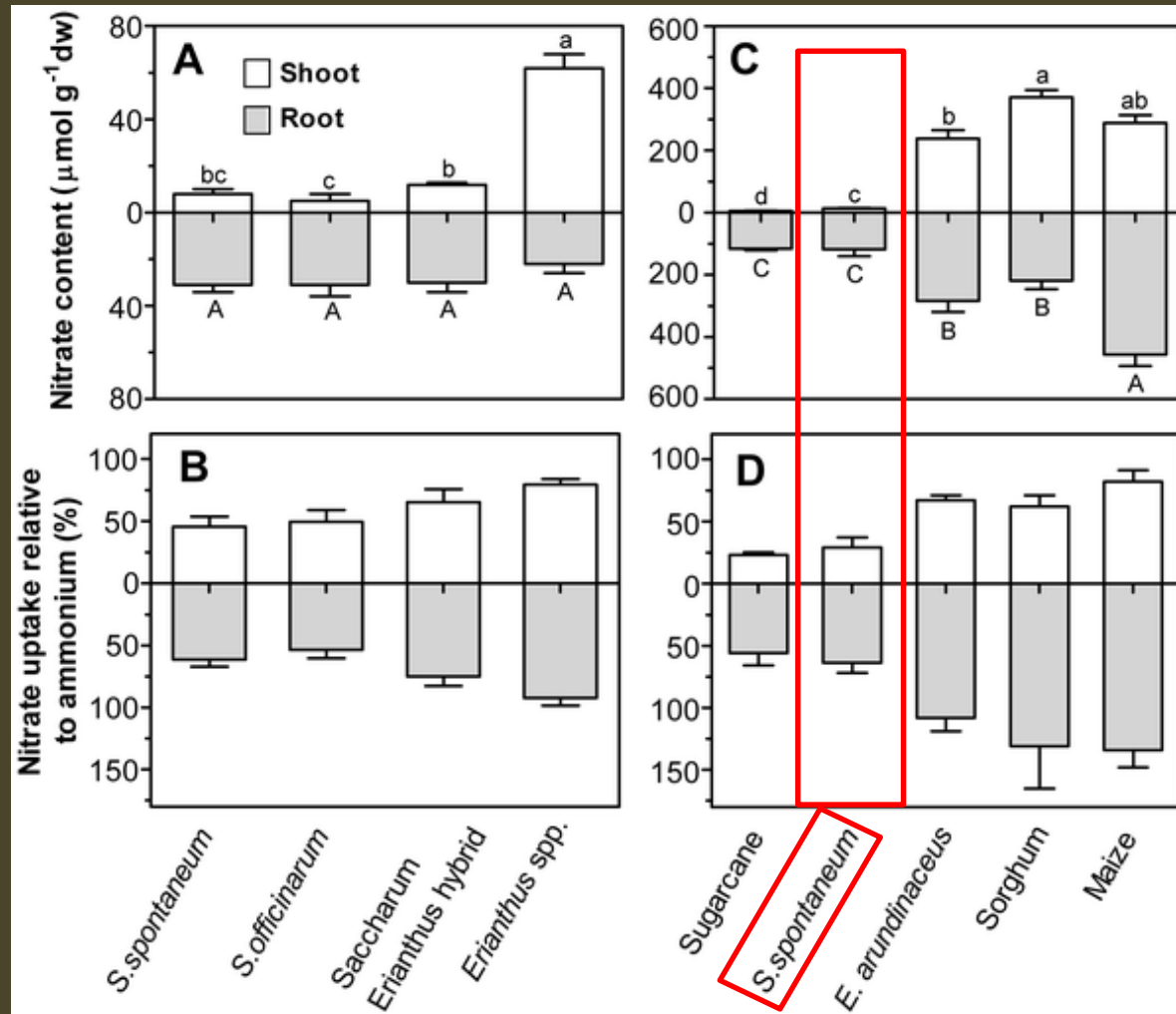


B. HUMIDICOLA

POSSIVELMENTE, A *SACCHARUM SPONTANEUM*, ANCESTRAL DIRETO DA CANA-DE-AÇÚCAR, APRESENTA MECANISMO SEMELHANTE ÀS BRACHIÁRIAS, JÁ QUE A ESPÉCIE DEMONSTROU PREFERÊNCIA NA ABSORÇÃO DE N COMO NH_4^+ (ROBINSON et al., 2011)



NITRATE USE ACROSS ANDROPOGONEAE SUPERTRIBE

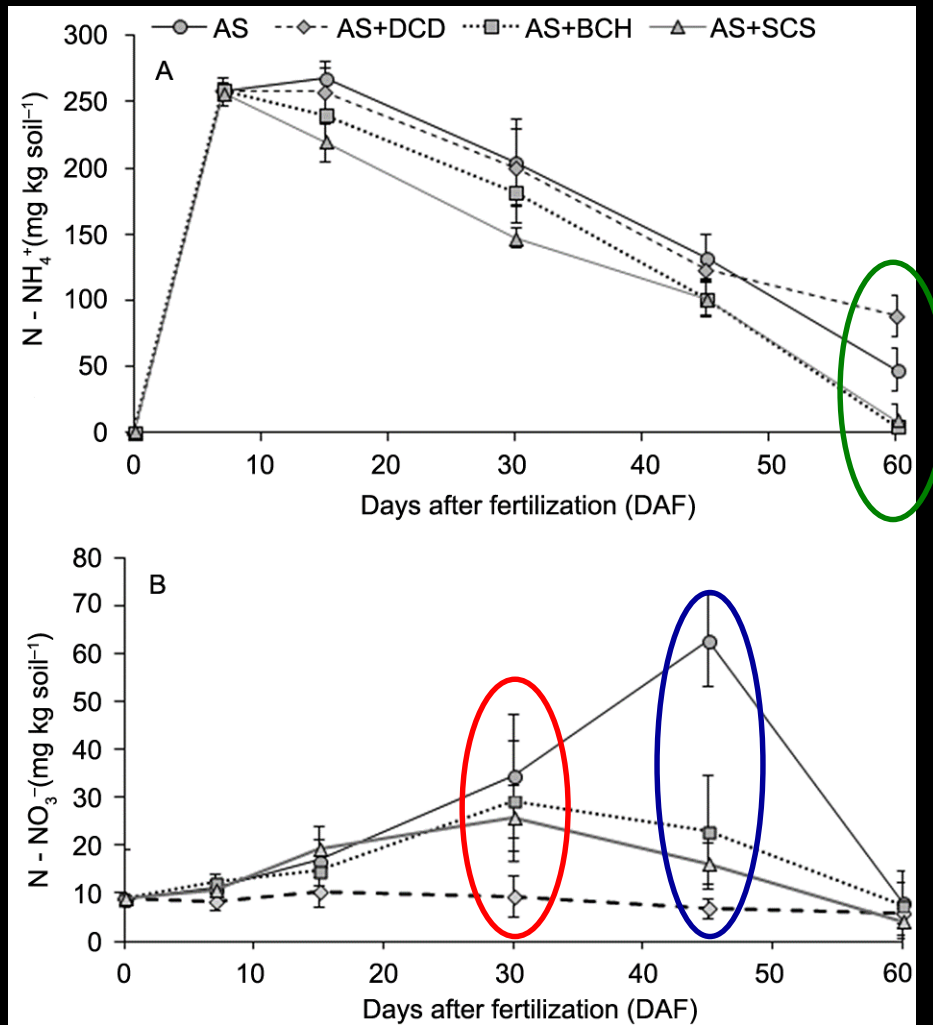


A and B: The N-replete plants received equimolar $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ /ammonium/nitrate for 24 h.

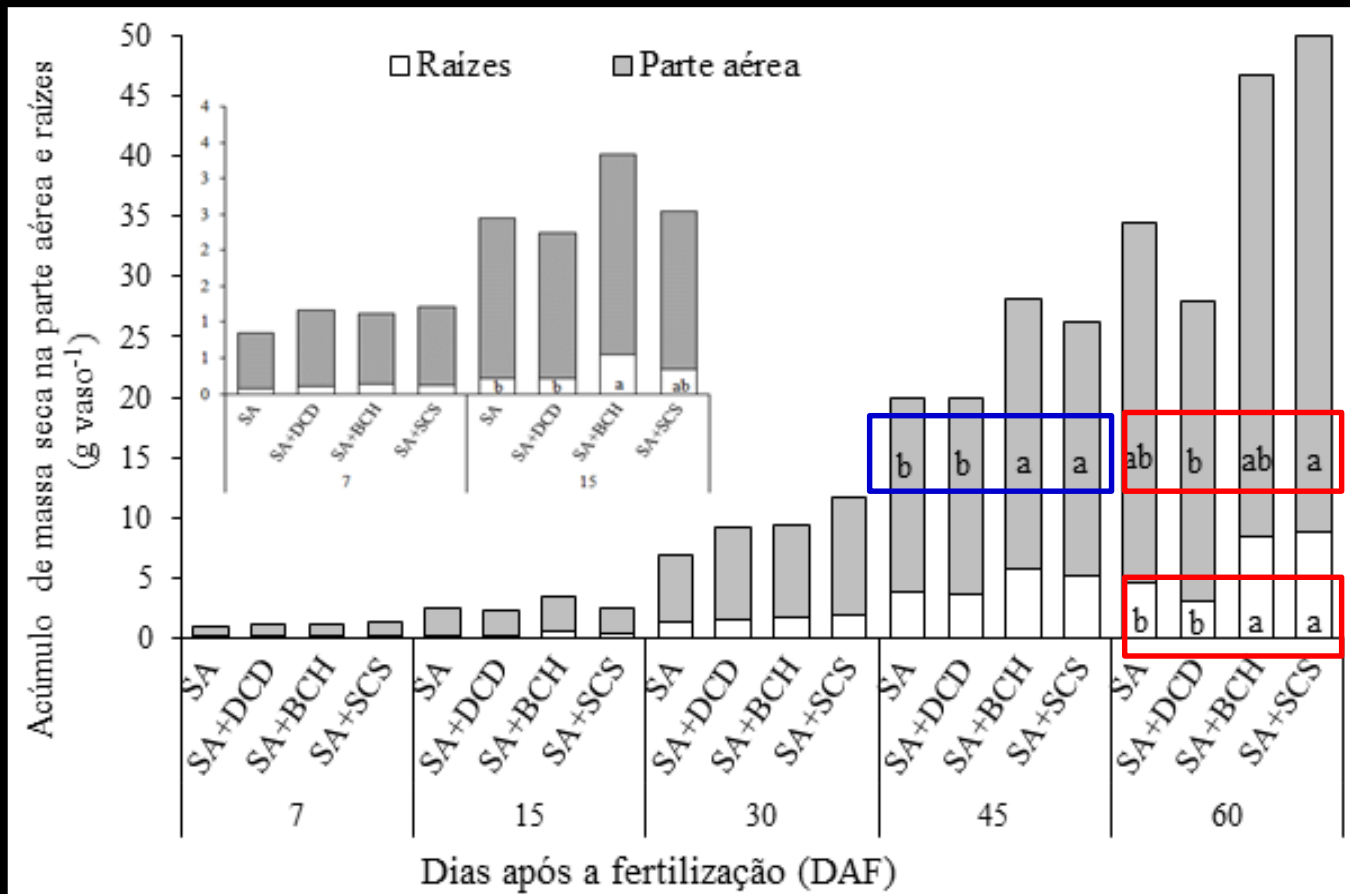
C and D: Uptake of nitrate and ammonium was assessed with $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ /ammonium/nitrate solutions over a shorter period (2 h)

Kölln et al. (2016) AVALIARAM O POTENCIAL DE EXTRATOS RADICULARES DE *BRACHIARIA HUMIDICOLA* E *SACCHARUM SPONTANEUM* COMPARADOS AO INIBIDOR DCD (DICIANODIAMIDA) PARA AUMENTAR A ABSORÇÃO DE N EM CANA-DE-AÇÚCAR ADUBADAS COM SULFATO DE AMÔNIO



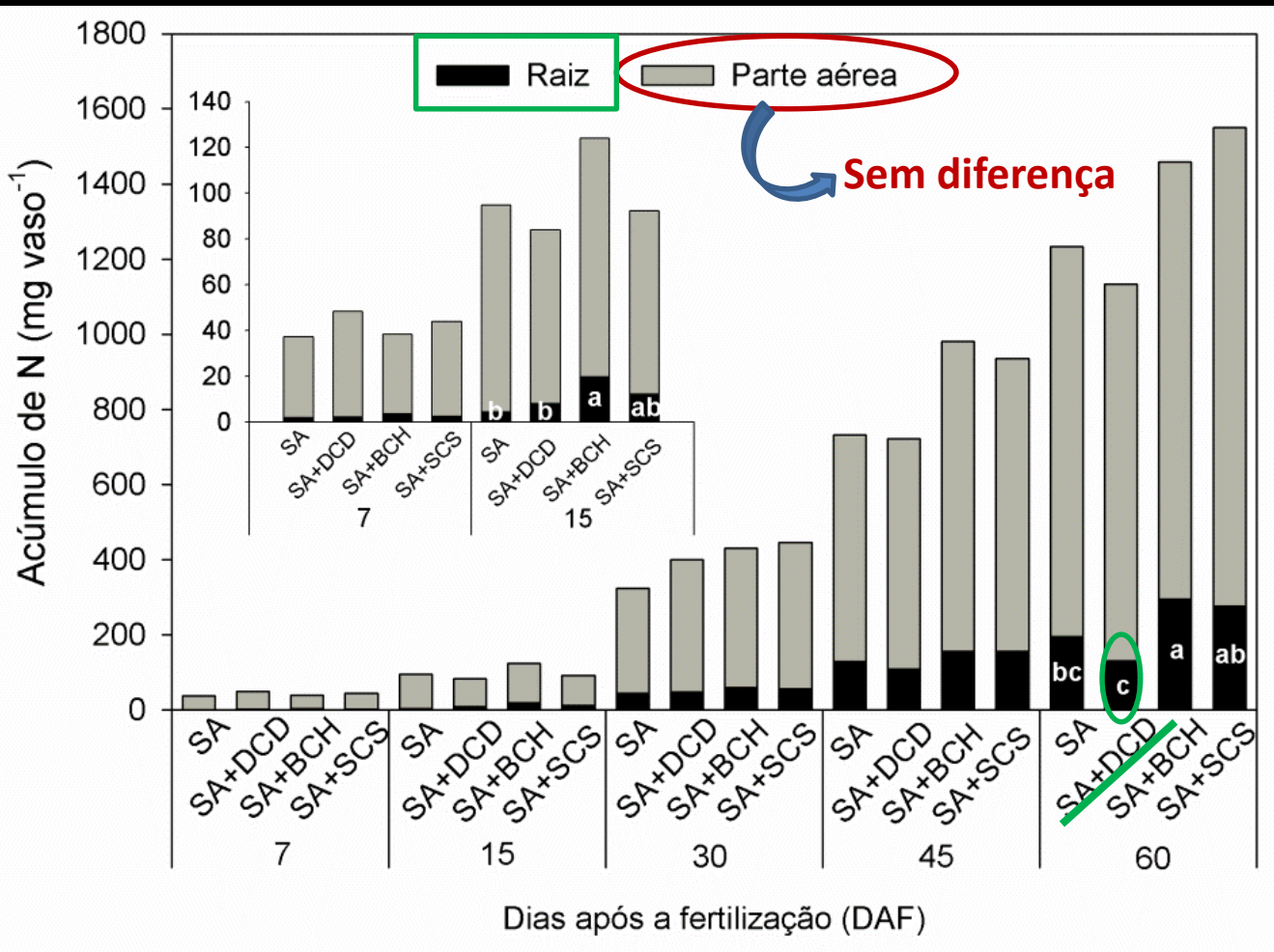


N-NH₄⁺ E N-NO₃⁻ NO SOLO DURANTE 60 DIAS APÓS A ADUBAÇÃO COM AS: SULFATO DE AMÔNIO; AS+DCD: DICIANODIAMIDA; AS+ BCH: EXTRATO DE RAÍZES DE *BRAQUIÁRIA HUMIDICOLA*; AS+SCS: EXTRATO DE RAÍZES DE *SACCHARUM SPONTANEUM*



MASSA SECA NA PARTE AÉREA E RAÍZES DE CANA-DE-AÇÚCAR (RB855156) COM A APLICAÇÃO DE SA: SULFATO DE AMÔNIO; DCD: DICIANODIAMIDA; BCH: EXTRATO DE RAÍZES DE *BRAQUIÁRIA HUMIDICOLA*; SCS: EXTRATO DE RAÍZES DE *SACCHARUM SPONTANEUM*

Kölln et al. (2016)



ACÚMULO DE N NA PARTE AÉREA E RAÍZES DE CANA-DE-AÇÚCAR (RB855156) COM A APLICAÇÃO DE SA: SULFATO DE AMÔNIO; DCD: DICIANODIAMIDA; BCH: EXTRATO DE RAÍZES DE *BRAQUIÁRIA HUMIDICOLA*; SCS: EXTRATO DE RAÍZES DE *SACCHARUM SPONTANEUM*

Kölln et al. (2016) CONCLUÍRAM QUE:

A APLICAÇÃO DE EXTRATOS DE RAÍZES DE *B. HUMIDICOLA* E *S. SPONTANEUM* COM SULFATO DE AMÔNIO AUMENTOU O CRESCIMENTO INICIAL DA CANA-DE-AÇÚCAR, NO ENTANTO O EFEITO SOBRE A NITRIFICAÇÃO FOI POUCO SIGNIFICATIVO.

A CANA-DE-AÇÚCAR NÃO SE BENEFICIOU DA MAIOR CONCENTRAÇÃO DE $N-NH_4^+$ PELA AÇÃO DCD.

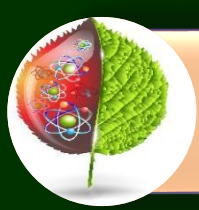
EXTRATOS DE GRAMÍNEAS PROMOVERAM AUMENTO NA MATÉRIA SECA DE CANA-DE-AÇÚCAR, PROVAVELMENTE DEVIDO AO EFEITO ESTIMULANTE DE CRESCIMENTO DE COMPOSTOS PRESENTES NOS EXTRATOS.



NASTARO-BOSCHIERO (2017)

INFLUÊNCIA DA RELAÇÃO N-NITRATO/ N-AMÔNIO NO CRESCIMENTO, PRODUÇÃO, NUTRIÇÃO E METABOLISMO DA CANA-DE-AÇÚCAR





Tratamentos

Proporções de
 $\text{N-NO}_3^- / \text{N-NH}_4^+$



100% N-NO_3^- / 0% de N-NH_4^+
75% N-NO_3^- / 25% de N-NH_4^+
50% N-NO_3^- / 50% de N-NH_4^+
25% N-NO_3^- / 75% de N-NH_4^+
0% N-NO_3^- / 100% de N-NH_4^+

$[\text{N}] = 15 \text{ mM}$ ou 210 mg L^{-1}

Delineamento experimental

- ✓ Blocos ao acaso;
- ✓ 5 repetições.

Condução

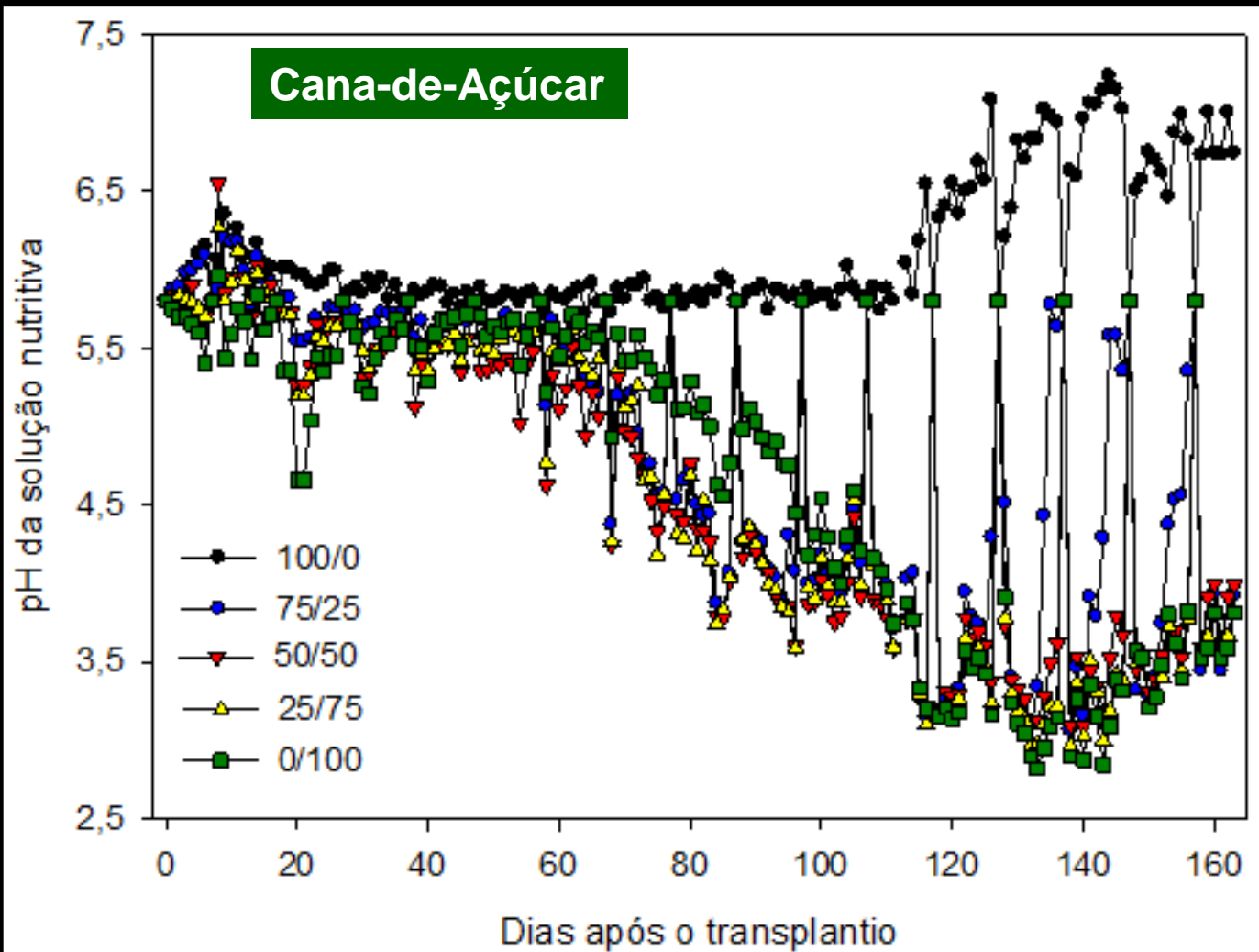
- ✓ Acerto diário de pH da solução nutritiva
- ✓ Troca da solução nutritiva a cada 10 dias;
- ✓ Colheita: 163 dias após o transplante

Nastaro-Boschiero (2017)



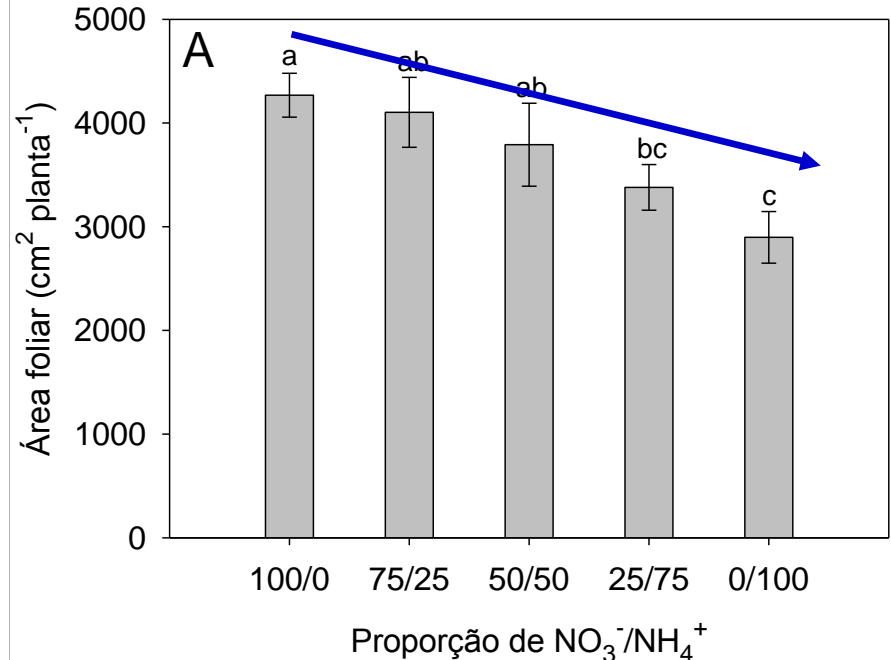
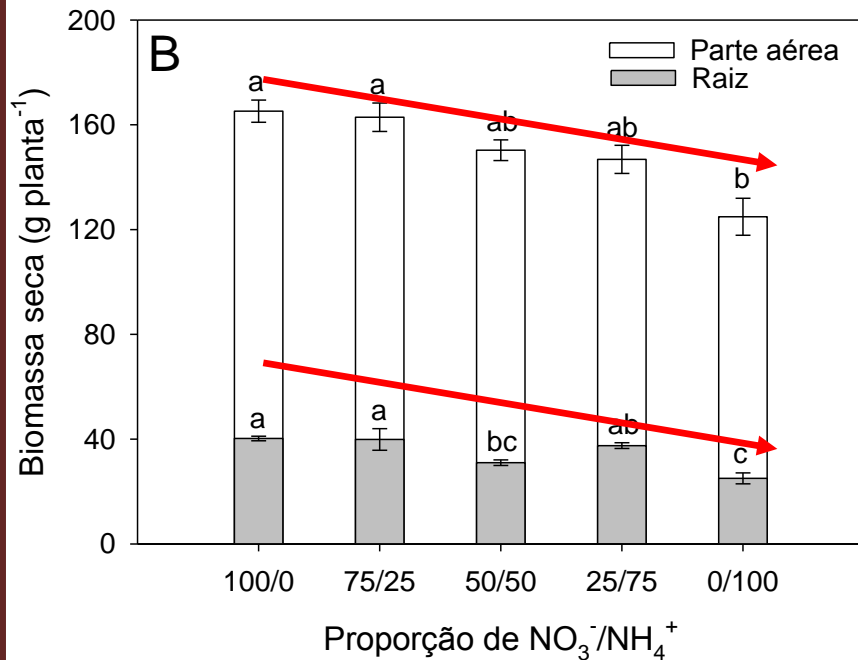
Diferença visual das plantas supridas com combinações de formas de N ($\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$), 163 dias após o transplante.

Nastaro-Boschiero (2017)



Variação do pH da solução nutritiva com o tempo (dias após o transplante - DAT). O pH do meio foi corrigido diariamente para $5,8 \pm 0,1$. Os tratamentos são indicados na legenda da figura e representam proporções de $\text{N-NO}_3^-/\text{N-NH}_4^+$, respectivamente.

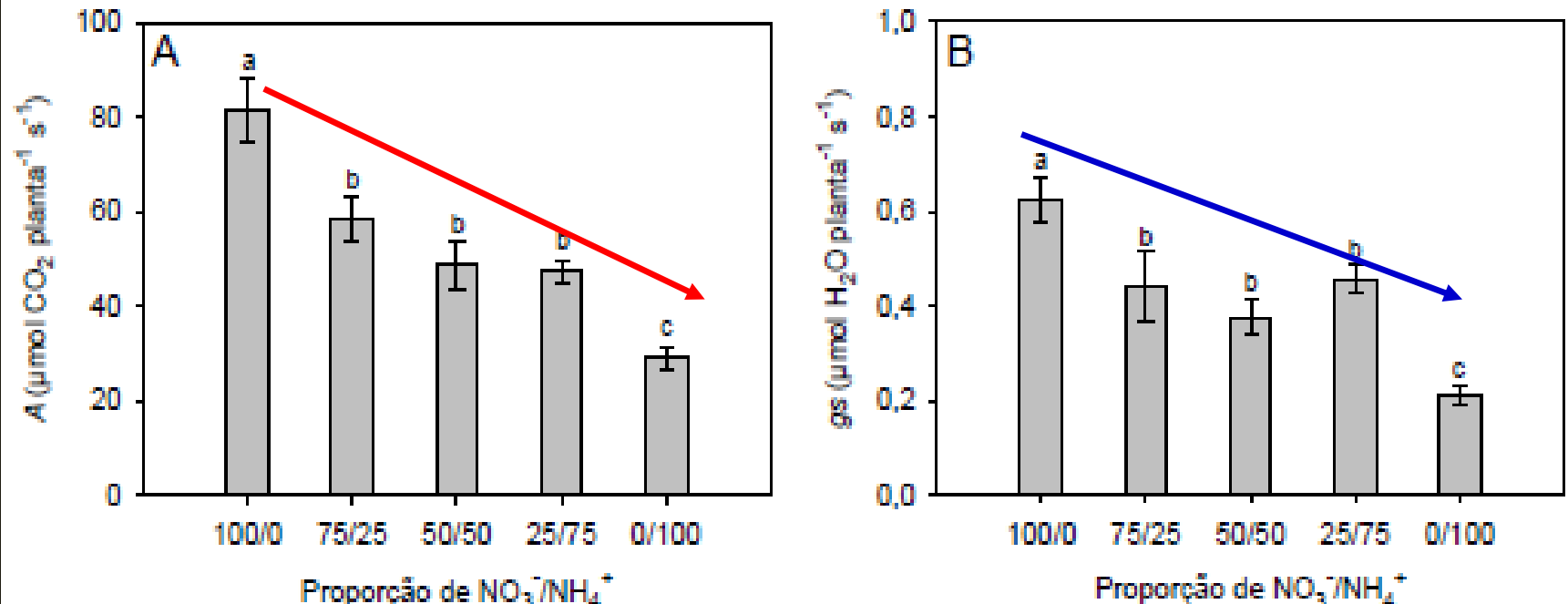
Biomassa e Área foliar na Cana-de-Açúcar



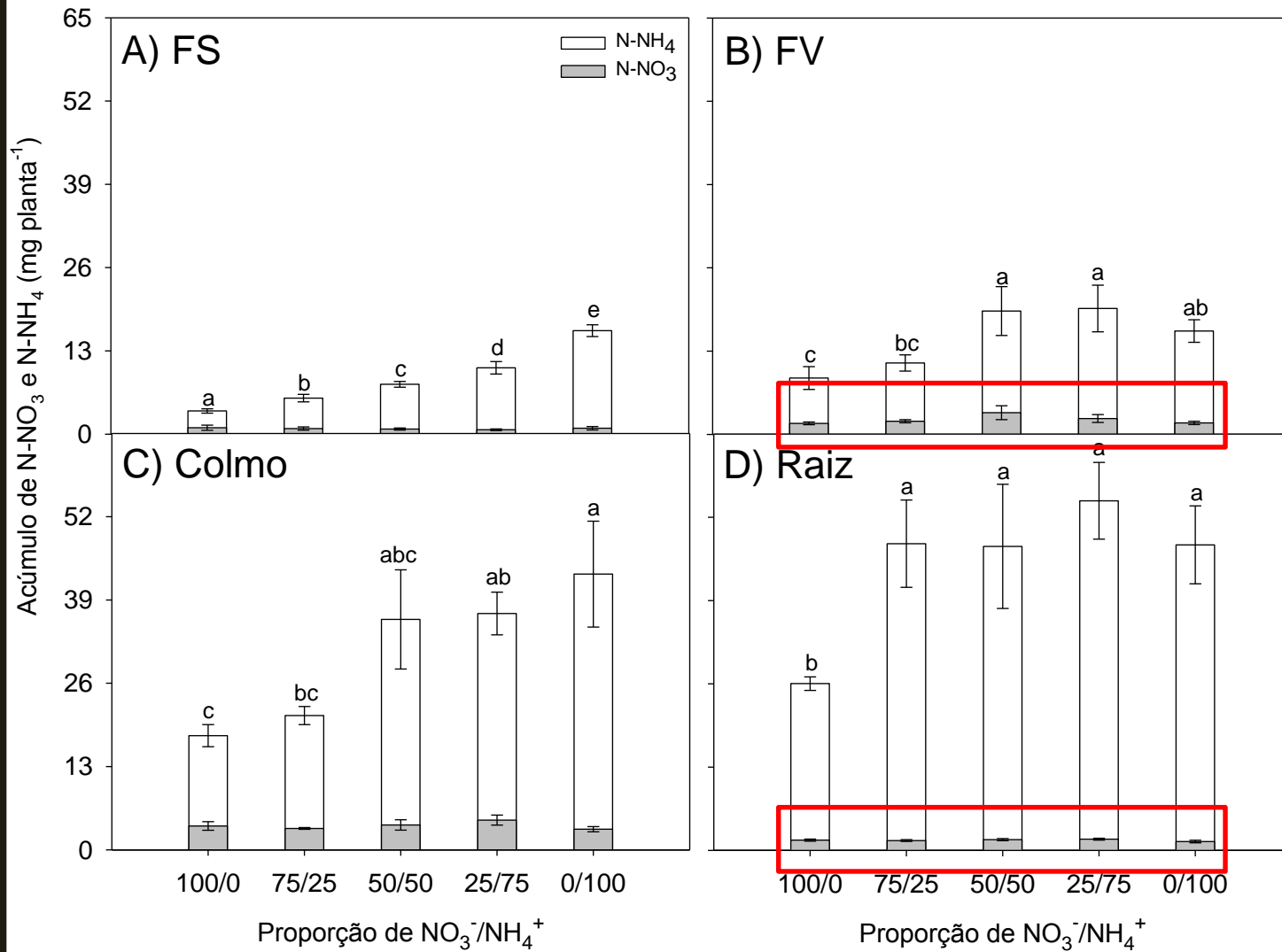
PRODUÇÃO DE BIOMASSA E ÁREA FOLIAR DE PLANTAS DE CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADAS COM PROPORÇÕES DE NO₃⁻/NH₄⁺ POR 163 DIAS. LETRAS IGUAIS NÃO DIFEREM SIGNIFICATIVAMENTE ENTRE SÍ (P<0,05)

Nastaro-Boschiero (2017)

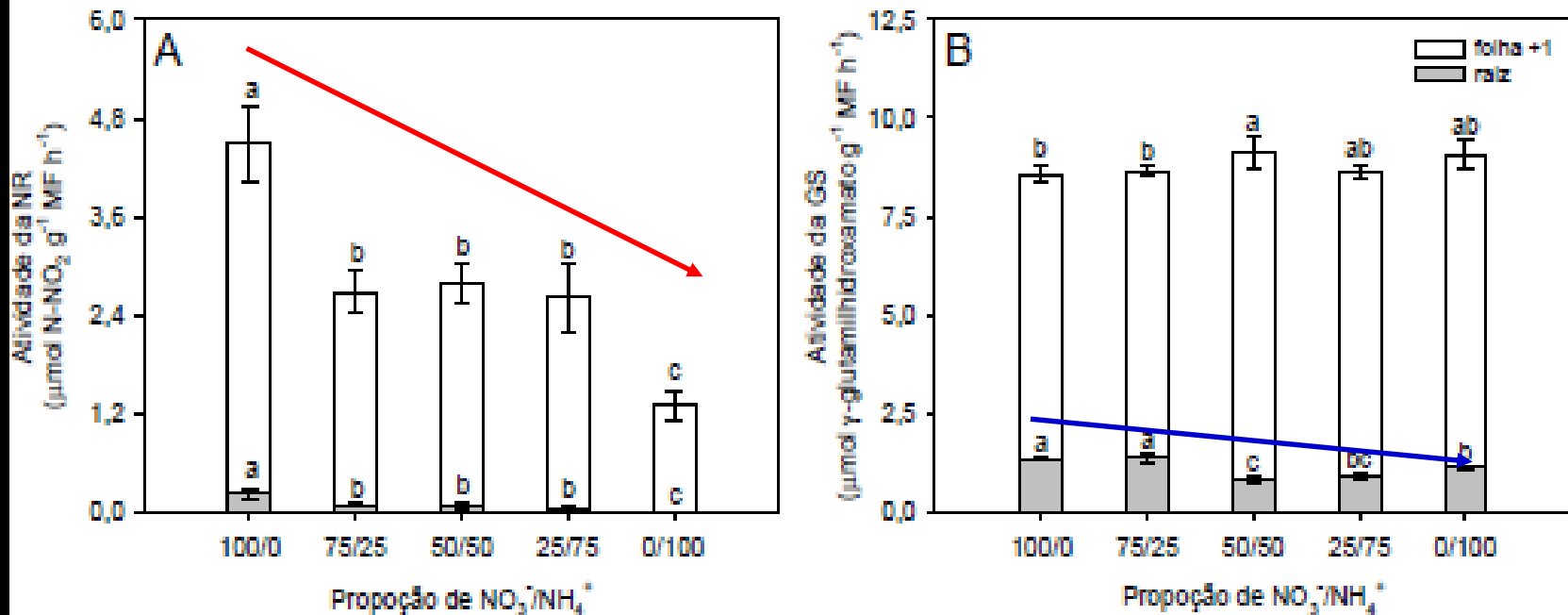
Fotossíntese na Cana-de-Açúcar



Assimilação líquida de CO_2 por planta (A) e condutância estomática por planta (B) no primeiro limbo foliar de folhas recém-expandidas (folha +1) das plantas de cana-de-açúcar crescidas em proporções de $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$. Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem significativamente entre si pelo teste LSD ($P \leq 0,05$).

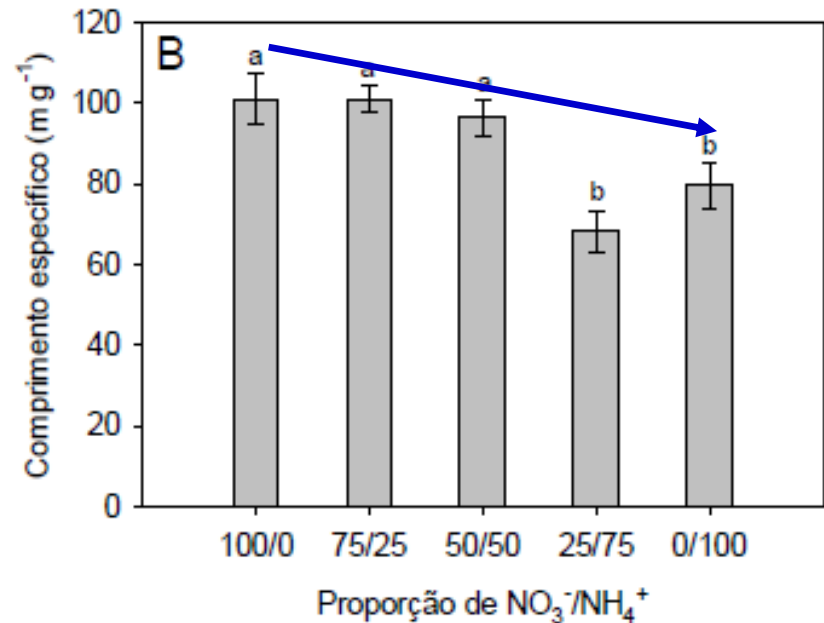
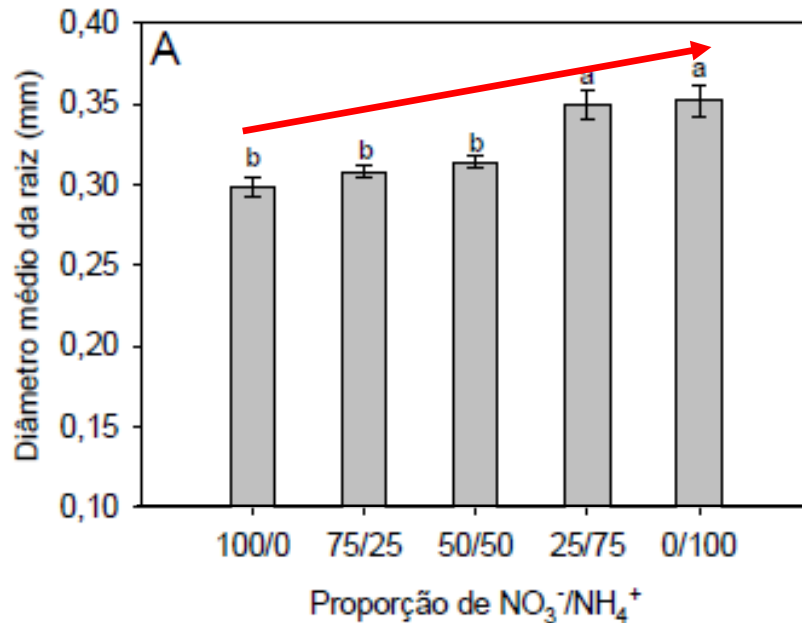


Atividades Enzimáticas na Cana-de-Açúcar



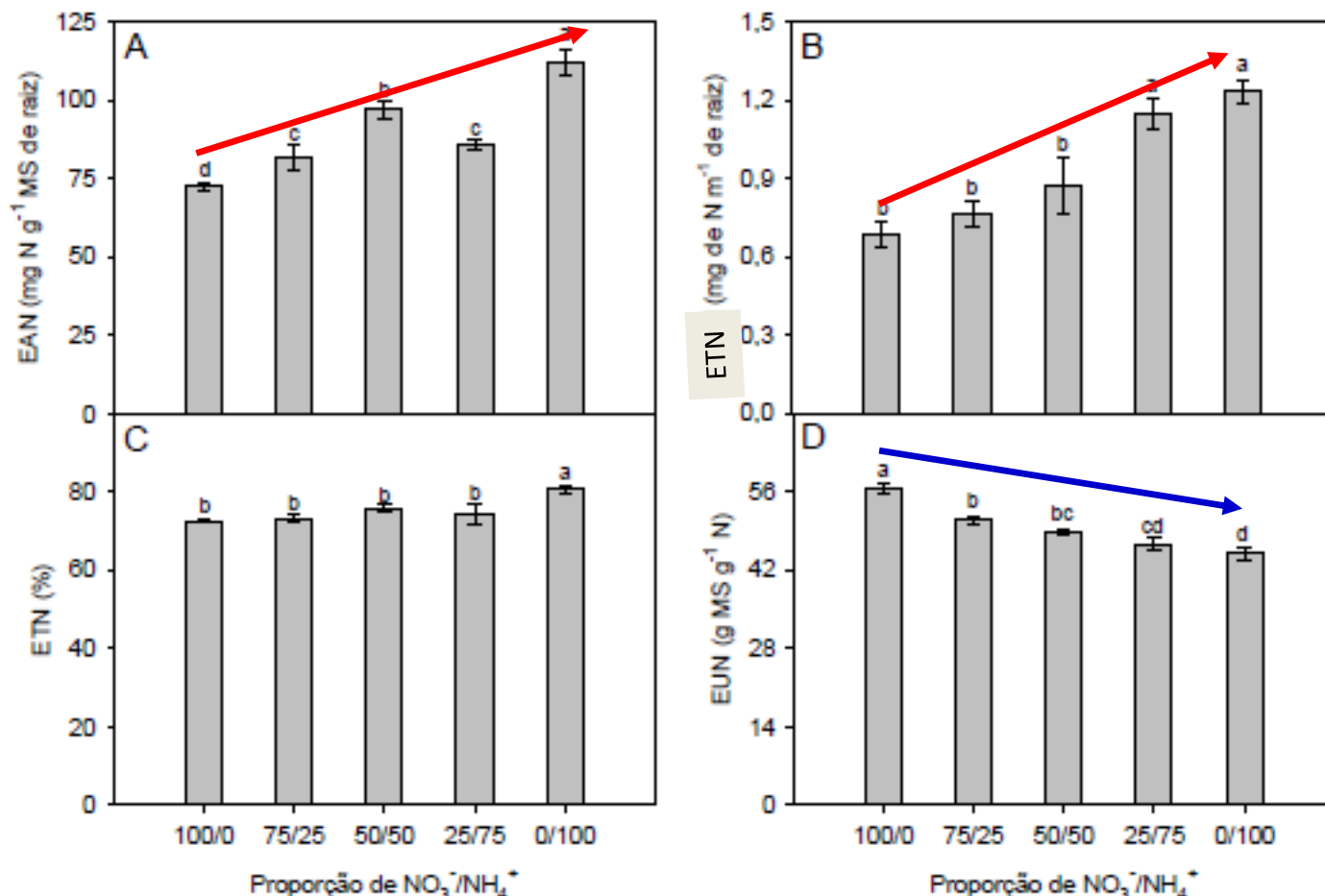
Atividade das enzimas redutase do nitrato – NR (A) e sintetase da glutamina – GS (B) na folha +1 e raízes das plantas de cana-de-açúcar cultivadas com diferentes formas de N. MF: biomassa fresca de tecido vegetal. Letras diferentes indicam diferença significativa ($P \leq 0,05$) entre tratamentos.

Sistema Radicular na Cana-de-Açúcar



Diâmetro médio (A) e comprimento específico (B) de raízes de plantas de cana-de-açúcar cultivadas com nitrato e/ou amônio por 163 dias. Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem significativamente entre si pelo teste LSD ($P \leq 0,05$).

Nastaro-Boschiero (2017)



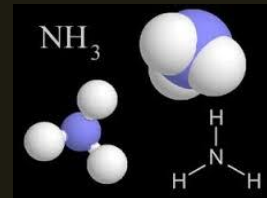
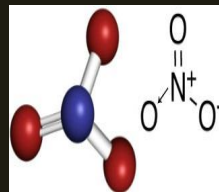
Eficiência de absorção – EAN (A), transporte - ETN (B) e utilização de N – EUN (C) por plantas de cana-de-açúcar cultivadas por 163 dias com o fornecimento de nitrato e/ou amônio na solução nutritiva. MS: biomassa seca (parte aérea + raízes). Letras diferentes indicam diferença significativa ($P \leq 0,05$) entre tratamentos.

NASTARO-BOSCHIERO (2017) CONCLUIU:

A NUTRIÇÃO EXCLUSIVAMENTE AMONÍACAL NÃO SUSTENTOU EFICIENTEMENTE A LONGO PRAZO O CRESCIMENTO DAS PLANTAS DE CANA-DE-AÇÚCAR EM SOLUÇÃO NUTRITIVA;

A CANA-DE-AÇÚCAR NÃO ACUMULA NITRATO EM SEUS VACÚOLOS;

PLANTAS CRESCIDAS EM MEIO CONTENDO SOMENTE NITRATO OU COM MAIORES RELAÇÕES DE $N-NO_3^-/N-NH_4^+$ MOSTRARAM MELHOR DESENVOLVIMENTO E MAIOR EUN.





NASTARO-BOSCHIERO (2017)

A “PREFERÊNCIA” DE ABSORÇÃO POR AMÔNIO CONFERE MAIOR EFICIÊNCIA DE USO DE NITROGÊNIO EM CANA-DE-AÇÚCAR?

OBJETIVO: QUANTIFICAR A EFICIÊNCIA DE USO DE N (EUN) DO AMÔNIO (NH_4^+) E NITRATO (NO_3^-) NA CANA-DE-AÇÚCAR EM CONDIÇÕES CONTROLADAS E DE CAMPO, UTILIZANDO A TÉCNICA DO TRAÇADOR ISOTÓPICO (^{15}N).



EXPERIMENTO DE CAMPO

- Fontes $\left\{ \begin{array}{l} \text{Ureia: CO}^{15}\text{(NH}_2\text{)}_2 \\ \text{N}^*\text{A: NH}_4^{15}\text{NO}_3 \\ \text{NA}^*: {}^{15}\text{NH}_4\text{NO}_3 \end{array} \right.$
- Adubos marcados em ^{15}N (dose: 100 kg ha^{-1});
- 4^a soqueira da cana-de-açúcar;
- Avaliação : 88, 150 e 253 dias após a adubação.



INSTALAÇÃO DE MICROPARCELAS (^{15}N)



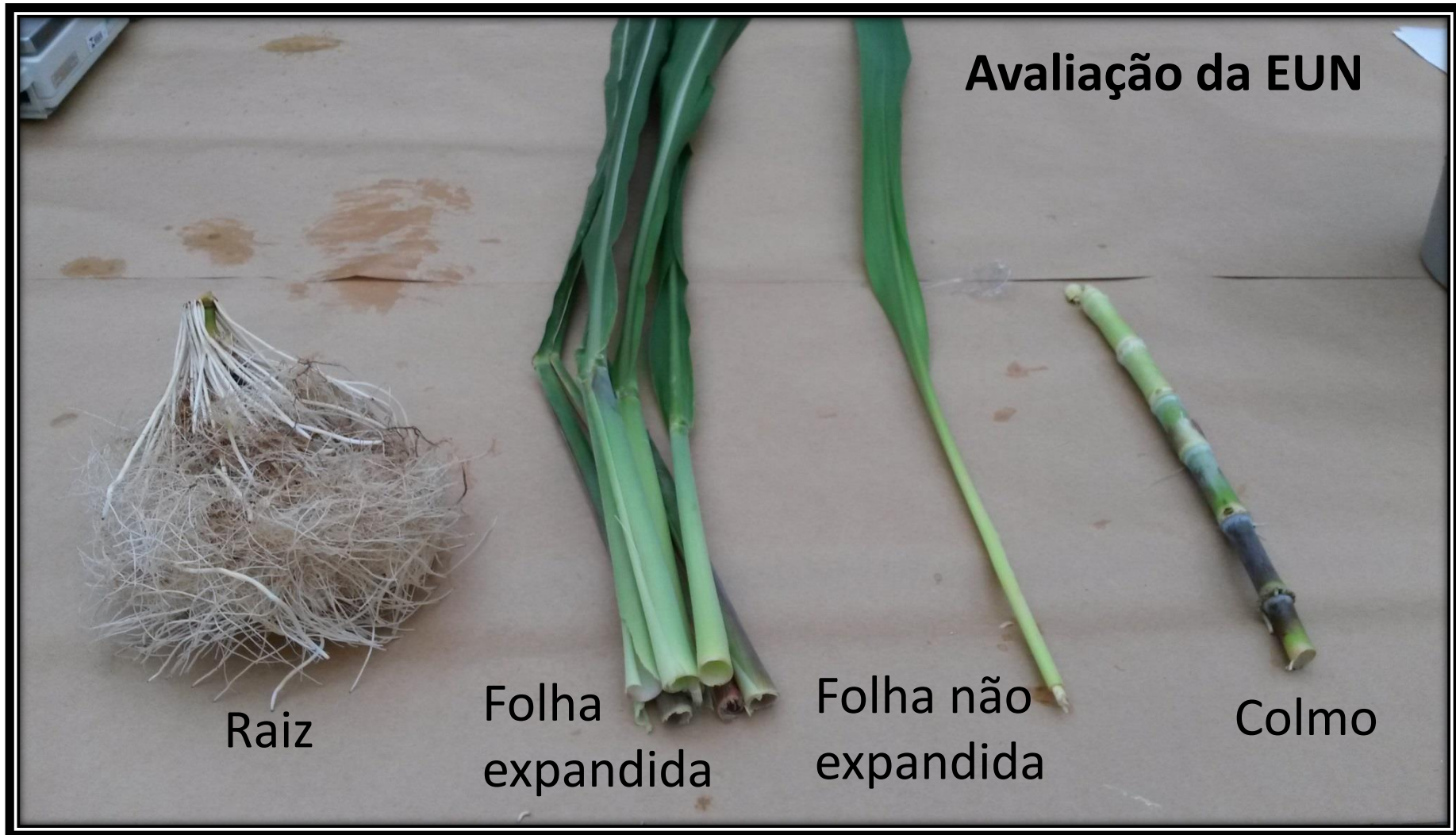
Microparcels com ^{15}N

Ureia: 1 microparcela (2 m);

NA: 2 microparcels (2 m cada):
uma com marcação no $^{15}\text{N}\text{-NO}_3^-$
outra no $^{15}\text{N}\text{-NH}_4^+$.



EXPERIMENTO EM CASA DE VEGETAÇÃO



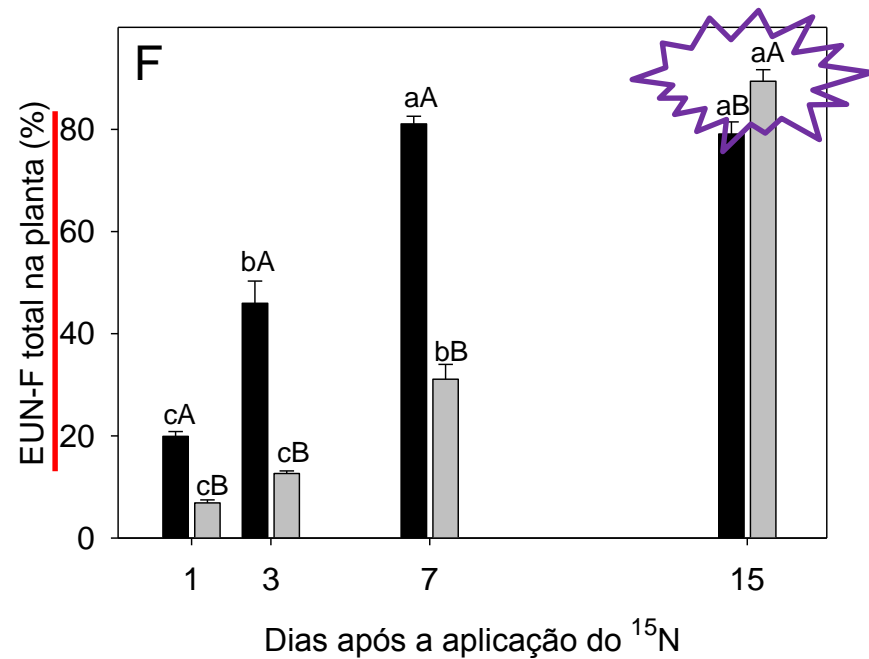
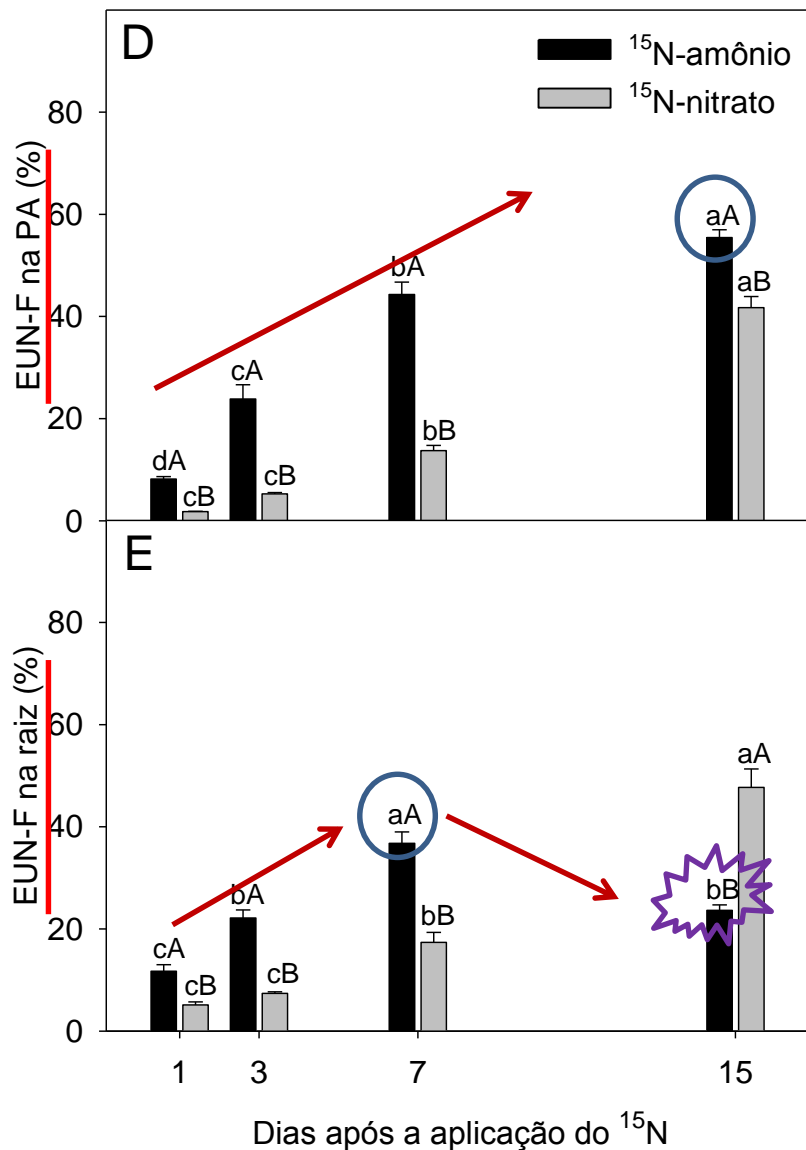


EUN EM CAMPO

Fontes de N	Dias após a aplicação dos fertilizantes (DAAF)								
	88			150			253		
	PA	PA	Colmo	Ponteiro	FS	PA	Raiz 0-20 cm	Raiz 20-40	Colmo Subter.
----- NPPF (kg ha ⁻¹) ou EUN-F (%) ⁽¹⁾ -----									
NA	64,4 a	48,4 a	25,0 a	8,0 a	11,7 a	44,7 a	1,08	0,29 a	0,51 a
UR	43,8 b	29,2 b	12,0 b	6,5 b	7,2 b	25,6 b	1,02	0,09 b	0,29 b
P > F	0,080**	0,036**	0,004**	0,086**	0,059**	0,008**	0,660 ^{NS}	0,025**	0,066**
DMS	18,6	5,4	3,82	1,38	3,54	7,08	0,28	0,12	0,18
CV (%)	20,7	8,4	12,4	11,5	22,6	12,1	16,0	36,5	27,3
----- NPPF (kg ha ⁻¹) -----									
NA- ¹⁵ NO ₃ ⁻ (4)	34,1	24,4	13,3	4,0	5,2	22,4	0,46	0,20	0,25
NA- ¹⁵ NH ₄ ⁺ (4)	30,3	24,0	11,8	4,0	6,5	22,2	0,55	0,09	0,27
P > F	0,562 ^{NS}	0,863 ^{NS}	0,414 ^{NS}	0,986 ^{NS}	0,412 ^{NS}	0,934 ^{NS}	0,507 ^{NS}	0,170 ^{NS}	0,646 ^{NS}
DMS	13,8	6,0	3,7	1,2	3,1	5,9	0,28	0,14	0,13
CV (%)	25,9	14,8	17,6	18,1	32,0	15,9	33,4	59,7	29,8
----- EUN-F (%) -----									
NA- ¹⁵ NO ₃	68,3	48,9	26,5	8,0	10,4	44,9	0,92	0,40	0,49
NA- ¹⁵ NH ₄	60,6	47,9	23,5	8,0	12,9	44,4	1,11	0,18	0,54
P > F	0,563 ^{NS}	0,864 ^{NS}	0,407 ^{NS}	0,986 ^{NS}	0,413 ^{NS}	0,932 ^{NS}	0,506 ^{NS}	0,178 ^{NS}	0,677 ^{NS}
DMS	27,7	11,9	7,3	2,4	6,2	11,9	0,58	0,30	0,26
CV (%)	25,9	14,8	21,7	18,0	32,0	16,0	34,2	61,3	29,8



EUN EM CONDIÇÕES CONTROLADAS





CONCLUSÕES

^{15}N -AMÔNIO NÃO FOI PREFERENCIALMENTE RECUPERADO E NÃO AUMENTOU A EUN NAS PLANTAS DE CANA-DE-AÇÚCAR EM CONDIÇÕES DE CAMPO;

A ABSORÇÃO INICIAL DE ^{15}N -AMÔNIO PELA CANA-DE-AÇÚCAR É MUITO MAIS RÁPIDA QUE A ABSORÇÃO DE ^{15}N -NITRATO, CONTUDO À MEDIDA QUE A QUANTIDADE DE ^{15}N -AMÔNIO DISPONÍVEL DIMINUI NO MEIO, A ABSORÇÃO DA FONTE NÍTRICA AUMENTA;

A CANA-DE-AÇÚCAR PODE APROVEITAR EFICIENTEMENTE AMBAS AS FORMAS DE N SE COEXISTIREM NO SOLO.

NASTARO-BOSCHIERO (2017)

REFERÊNCIAS

BOUDSOCQ, S.; NIBOYET, A.; LATA, J.C.; RAYNAUD, X.; LOEUILLE, N.; MATHIEU, J.; BLOUIN, M.; ABBADIE, L.; BAROT, S. Plant preference for ammonium versus nitrate: A neglected determinant of ecosystem functioning? *The American Naturalist*, Chicago, v. 180, p.60-69, 2012.

KÖLLN, O.T. Eficiência de uso de nitrogênio pela cana-de-açúcar: diferenças genotípicas, preferência por amônio e emissão de N₂O. 2016. 120 p. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

KÖLLN, O.T.; FRANCO, H.C.J.; FERREIRA, D.A.; VARGAS, V.P.; CASTRO, S.A.Q.; CANTARELLA, H.; CALDANA, C.; TRIVELIN, P.C.O. Root extracts of *Bracchiaria humidicola* and *Sacchaum spontaneum* to increase N use by sugarcane. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 73, p. 34-42, 2016.

MARIANO, E. Predição da necessidade de fertilizante nitrogenado pela cana-de-açúcar e reações do nitrogênio orgânico e mineral dissolvidos em palha e solo de canaviais. 2014. 148p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

NASTARO-BOSCHIERO B. Adubação nitrogenada em soqueiras de cana-de-açúcar: influência do uso em longo prazo de fontes e/ou doses de nitrogênio . 2017. 232p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.

ROBINSON, N.; BRACKIN, R.; VINALL, K.; SOPER, F.; HOLST, J., GAMAGE, H.; PAUNGFOO-LONHIENNE, C.; RENNENBERG, H.; LAKSHMANAN, P.; SCHMIDT, S. Nitrate paradigm does not hold up for sugarcane. *Plos One*, São Francisco, v. 6, p. e19045, 2011.

SALSAC, L.; CHAILLOU, S.; MOROT-GAUDRY, J.F.; LESAIN, C.; JOLIVET, E. Nitrate and ammonium nutrition in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, Paris, v. 6, p. 805-812, 1987.

SOUZA, S. R.; FERNANDES, M. S. Nitrogênio. In: FERNANDES, M. S. Nutrição Mineral de Plantas. Viçosa – MG. Editora Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. Cap. 9. p. 216-252.

SUBBARAO, G.V.; ITO, O.; SUBBARAO, G.V.; BERRY, W.; NAKAHARA, K.; ISHIKAWA, T.; WATANABE, T.; SUENAGA, K.; RONDON, M.; RAO, I.M. Scope and strategy for regulation of nitrification in agricultural system-Challenges and Oportunities. *Critical Reviews in Plant Sciences*, v.25, p.303–335, 2006.



AGRADEÇO PELA ATENÇÃO

PAULO C. O. TRIVELIN
pcotrive@cena.usp.br