

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNABUCO**

**ARIANE MÁRCIA DE SOUSA SILVA**

**EFICIÊNCIA DO MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NA  
CANA SOCA CULTIVADA EM SOLO ARENOSO DA REGIÃO  
NORDESTE DO BRASIL**

**RECIFE**

**2019**



Ariane Márcia de Sousa Silva  
Engenheira Agrônoma

**Eficiência do manejo da adubação nitrogenada na cana soca cultivada em solo arenoso da região nordeste do Brasil**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Ciência do Solo

Orientador: Prof. Dr. Emídio Cantídio Almeida de Oliveira

Coorientadores:

Prof. Dr. Paulo Cesar Ocheuze Trivelin

Prof. Dr. Brivaldo Gomes de Almeida

**Recife**

**2019**

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE  
Biblioteca Centra, Recife-PE, Brasil

S586e Silva, Ariane Márcia de Sousa  
Eficiência do manejo da adubação nitrogenada na cana soca  
cultivada em solo arenoso da região nordeste do Brasil / Ariane  
Márcia de Sousa Silva. – 2019.  
107 f. : il.

Orientador: Emídio Cantídio Almeida de Oliveira.  
Coorientadores: Paulo Cesar Ocheuze Trivelin e Brivaldo  
Gomes de Almeida.  
Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de  
Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciências do solo,  
Recife, BR-PE, 2019.  
Inclui referências.

1. Lixiviação 2. Solos arenosos 3. Cana-de-açúcar 4. Adubos e  
fertilizantes 5. Solos – Manejo I. Oliveira, Emídio Cantídio Almeida  
de, orient. II. Trivelin, Paulo Cesar Ocheuze, coorient. III. Almeida,  
Brivaldo Gomes de, coorient. IV. Título

CDD 631.4

ARIANE MÁRCIA DE SOUSA SILVA

**Eficiência do manejo da adubação nitrogenada na cana soca cultivada em solo arenoso da região nordeste do Brasil**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Ciência do Solo.

Aprovada em 27 de Fevereiro de 2019

---

Prof. Dr. Emídio Cantídio Almeida de Oliveira  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

**BANCA EXAMINADORA**

---

Dr. Djalma Euzébio Simões Neto  
Estação Experimental de Cana-de-açúcar de Carpina da UFRPE

---

Dr. Henrique Coutinho Junqueira Franco  
FEA/UNICAMP

---

Dr. Ênio Farias de França e Silva  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

---

Prof. Dr. Renato Lemos dos Santos  
Instituto Federal de Pernambuco – IFE/VIT. STO ANTÃO



*Aos meus pais, Francisco e Francisca pelo amor, apoio e ajuda, incondicional.*

*Aos meus irmãos e sobrinho Adriane, Adriele, Antônio e Andrews pelo apoio e compreensão.*

*Ao meu esposo Márcio, pelo apoio, carinho e compreensão.*

**Dedico**



## AGRADECIMENTOS

A Deus por toda a inspiração divina que governa nossas ações. Por ter me proporcionado a vida e a capacidade de ir atrás de meus sonhos.

Aos meus pais Francisco e Francisca, pelo amor e apoio incondicional em todas as fases de minha vida. Serão para sempre meu grande exemplo de caráter e determinação.

Aos meus irmãos, Adriane, Antônio e Adriele, por todo apoio, aconselhando e me fazerem sorrir até mesmo nos momentos difíceis.

Ao meu sobrinho Andrews, que chegou para alegrar ainda mais as nossas vidas, e encher de emoções os nossos dias.

Ao meu marido Márcio Fraga, por todo amor e companheirismo em todos os momentos. Aos seus pais e irmãos, Ednilson, Marilene, Paloma e Edinilson pelo carinho e acolhida.

Ao meu orientador, Dr. Emídio Cantídio, pela ideia da realização do presente estudo, pela paciência e competência em nortear este trabalho.

Aos professores Trivelin e Brivaldo Almeida, pelas importantes sugestões na realização deste trabalho.

A Dra. Cristina Lemos do IPA, por permitir a realização de análises no laboratório de física do solo.

A UFRPE, em especial ao programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo, por todo suporte proporcionado durante o meu doutorado.

A todos os professores do programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo, por todo conhecimento adquirido.

Aos amigos e colegas da rural, pelo grande auxílio e amizade: Patricia Karla, Danúbia, Monalisa, Vanessa, Robson, Andreza, Julyane, Laila, Wildson, Janiele, Clarissa, Magda.

A destilaria Japungu, em especial ao Dr. Dante pela parceria e disponibilidade da área e apoio na realização das atividades de campo e laboratório.

A Pedro por toda ajuda, empenho e atenção nas dúvidas que surgiam dentro do laboratório de química do solo.

Aos funcionários da UFRPE, em especial Maria do Socorro, nossa querida Socorrinha, por toda ajuda e carinho cedido e todos que se dedicam a esse programa e nos ajudam tão prestativamente.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa durante o meu curso de doutorado.

A todas instituições e demais pessoas que contribuíram com a minha formação e a realização desse estudo. Entendo que, na vida, há muito mais a agradecer, do que a pedir. E eu sou muito grato pela ajuda e apoio de todos.

***Obrigada!***

## Eficiência do manejo da adubação nitrogenada na cana soca cultivada em solo arenoso da região nordeste do Brasil

### RESUMO

A adubação nitrogenada na cana-de-açúcar é uma prática utilizada afim de se obter aumento na produtividade tanto no ciclo de cana planta quanto nos ciclos de cana soca. O N apresenta ciclo no sistema solo-planta é bastante complexo, com diferentes vias de entrada e saída, desse modo, o manejo adequado da adubação nitrogenada sobretudo, em socaria pode levar a resultados satisfatórios quanto ao aproveitamento de N pela cultura, resultando em menores perdas no solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o manejo da adubação nitrogenada na cultura da cana-de-açúcar em cana soca quando utilizado fontes e parcelamento e/ou complementação da adubação nitrogenada, em solo arenoso do Tabuleiro Costeiro paraibano. O experimento foi instalado em condições de campo, em cana soca, em solo de textura arenosa localizado na área agrícola da destilaria Japungú, situado no Município de Santa Rita, PB. Os tratamentos consistiram da aplicação da dose de  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, nas fontes nitrato de amônio (33% de N) e sulfato de amônio (21% de N) aplicada sob os manejos: manejo 1 ( $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, aplicados em dose única no segundo mês após o corte (MAC)), manejo 2 ( $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de N aplicado de forma parcelada na quantidade de  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  de N no segundo MAC e  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  de N no quarto MAC), manejo 3 ( $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de N aplicados em dose única no segundo MAC, mais complemento de  $24 \text{ kg ha}^{-1}$  de N aplicados no quarto MAC), manejo 4 ( $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de N aplicados em dose única no segundo MAC, mais complemento de  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  de N aplicados no quarto MAC), manejo 5 ( $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de N aplicados em dose única no segundo MAC, mais complemento de  $56 \text{ kg ha}^{-1}$  de N aplicados no quarto MAC), e um tratamento adicional sem aplicação de fertilizante nitrogenado. Os manejos citados acima foram adotados no segundo capítulo, enquanto que, no primeiro capítulo adotou-se os manejos: 1; 2; 4 e o controle. Foram avaliados a concentração de íons de N na solução do solo, lixiviação de N, recuperação do N do fertilizante durante o ciclo agrícola da cultura; matéria seca, teor de N na palhada; produtividade de colmos e qualidade tecnológica. Os valores médios da concentração de íons de N foram de  $2,5 \text{ mg L}^{-1}$  para NA e  $3,37 \text{ mg L}^{-1}$  para SA. A participação do  $^{15}\text{N}$ -fertilizante na solução do solo (NSSPF) foi superior a 80 % nos primeiros trinta dias após aplicação dos fertilizantes com as duas fontes e manejos testados. A maior recuperação do nitrogênio do fertilizante ocorreu aos 360 DAAT, com valor médio de  $18,6 \text{ kg ha}^{-1}$  sob manejo da adubação complementar. A prática do manejo da adubação nitrogenada promoveu incrementos médios de 12 e  $8 \text{ ha}^{-1}$  de MSPA e TCH independente da fonte adotada. Embora as fontes de N não apresentaram diferença na produção de biomassa e nos atributos de produtividade da cana planta, o que possibilita a utilização das duas fontes no manejo da adubação nitrogenada.

**Palavras-chave:** Técnica isotópica. Lixiviação de nitrato. Aproveitamento de N. Produção de matéria seca.



## **Efficiency of nitrogen fertilization management in soca cane grown in sandy soil in northeastern Brazil**

### **ABSTRACT**

Nitrogen fertilization in sugarcane is a practice used in order to obtain an increase in productivity both in the sugarcane cycle and in the cane soca cycles. ON presents a cycle in the soil-plant system is quite complex, with different entrance and exit ways, thus, the proper management of nitrogen fertilization, especially in the pasture can lead to satisfactory results regarding the N utilization by the crop, resulting in lower losses not alone. The objective of this work was to evaluate the nitrogen fertilization management in cane sugarcane cultivation in soca sugarcane when using sources and in addition and / or complementation of nitrogen fertilization in sandy soil of the coastal tableland of Paraiba. The experiment was carried out in field conditions, in cana soca, in sandy soil located in the agricultural area of the Japungú distillery, located in the Municipality of Santa Rita, PB. The treatments consisted of the application of 80 kg ha<sup>-1</sup> of N in the sources of ammonium nitrate (33% N) and ammonium sulphate (21% N) applied under management: management 1 (80 kg ha<sup>-1</sup> of N, applied in a single dose in the second month after cutting (MAC)), management 2 (80 kg ha<sup>-1</sup> of N applied in installments in the amount of 40 kg ha<sup>-1</sup> of N in the second MAC and 40 kg ha<sup>-1</sup> (80 kg ha<sup>-1</sup> of N applied in a single dose in the second MAC, plus complement of 24 kg ha<sup>-1</sup> of N applied in the MAC room), handling 4 (80 kg ha<sup>-1</sup> of N applied in single dose in the second MAC, plus complement of 40 kg ha<sup>-1</sup> of N applied in the MAC room), handling 5 (80 kg ha<sup>-1</sup> of N applied in a single dose in the second MAC, plus complement of 56 kg ha<sup>-1</sup> of N applied in the MAC room), and an additional treatment without application of nitrogen fertilizer. The maneuvers mentioned above were adopted in the second chapter, while in the first chapter the management was adopted: 1; 2; 4 and the control. The concentration of N ions in the soil solution, N leaching, N fertilizer recovery during the crop cycle of the crop were evaluated; dry matter, N content in straw; crop yield and technological quality. The mean values of the concentration of N ions were 2.5 mg L<sup>-1</sup> for NA and 3.37 mg L<sup>-1</sup> for SA. The participation of <sup>15</sup>N-fertilizer in soil solution (NSSPF) was higher than 80% in the first 30 days after fertilizer application with the two sources and managements tested. The highest recovery of fertilizer nitrogen occurred at 360 DAAT, with an average value of 18.6 kg ha<sup>-1</sup> under management of the complementary fertilization. The practice of nitrogen fertilization management promoted mean increments of 12 and 8 ha<sup>-1</sup> of MSPA and TCH regardless of the source adopted. Although N sources did not present differences in biomass production and yield attributes of the cane plant, which allows the use of both sources in the management of nitrogen fertilization.

**Keywords:** Isotopic technique. Nitrate leaching. N. Production of dry matter.



## LISTA DE FIGURAS

---

### 3. RECUPERAÇÃO E LIXIVIAÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA EM SOLO ARENOSO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR

---

- Figura 1. Precipitação pluviométrica durante a condução do experimento, em Rio Tinto – Paraíba..... 44
- Figura 2. Curva Característica de Retenção de Água no Solo (CCRAS) ajustada ao modelo de Van Genuchten para cada profundidade de solo estudada..... 46
- Figura 3. Percentual do  $^{15}\text{N}$  na solução do solo proveniente do fertilizante (NSSPF) e de outras..... 58
- Figura 4. Proporção percentual do nitrogênio lixiviado nas diferentes espécies iônicas: (A) Controle, (B) Manejo 80 kg ha<sup>-1</sup> de N na fonte NA; (C) Manejo 40+40 kg ha<sup>-1</sup> de N na fonte NA, (D) Manejo 80+40 kg ha<sup>-1</sup> de N na fonte NA, (E) Manejo 80 kg ha<sup>-1</sup> de N na fonte SA, (F) Manejo 40+40 kg ha<sup>-1</sup> de N na fonte SA (G) Manejo 80+40 kg ha<sup>-1</sup> de N na fonte SA..... 62
- Figura 5. N derivado do fertilizante (NDFE) ou de outras fontes (outras fontes de N) na nutrição da cana-de-açúcar durante o ciclo da cultura da cana soca em relação a fontes de N e ao manejo da adubação nitrogenada..... 69

---

### 4. PRODUTIVIDADE E QUALIDADE TECNOLÓGICA DA CANA SOCA, EM RELAÇÃO A FONTES E MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA

---

- Figura 1. Precipitação pluviométrica durante a condução do experimento, em Rio Tinto – Paraíba..... 86
- Figura 2. Massa seca da parte aérea (g planta<sup>-1</sup>) em função de fontes de N e do manejo da adubação nitrogenada ao longo do crescimento da cana soca.....91
- Figura 3. Massa seca da parte aérea (Mg ha<sup>-1</sup>) (A, C) e taxa de acúmulo de matéria seca (kg ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>) (B, D) em função de fontes e manejo da adubação nitrogenada ao longo do crescimento da cana soca..... 93



## LISTA DE TABELAS

---

### 3. RECUPERAÇÃO E LIXIVIAÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA EM SOLO ARENOSO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR

---

Tabela 1. Caracterização química e física do solo da área experimental, nas profundidades de 0,0 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m.....	45
Tabela 2. Parâmetros de ajuste (coeficientes) da CCRAS para as profundidades de 0- 0,40 m e 0,0- 0,70 .....	47
Tabela 3. Concentração de nitrogênio mineral ( $\text{NO}_3^-$ ; $\text{NO}_2^-$ ; $\text{NH}_4^+$ ) da solução do solo aos 0,7 m de profundidade, durante o período de abril a julho de 2017. Rio Tinto, Paraíba, Brasil.....	53
Tabela 4. Concentração de nitrogênio mineral total e abundância de átomos de $^{15}\text{N}$ -fertilizante na solução do solo aos 0,7 m de profundidade, durante o período de abril a julho de 2017. Rio Tinto, Paraíba, Brasil.....	57
Tabela 5. Lixiviação de nitrogênio na solução do solo aos 0,7 m de profundidade, durante o período de abril a julho de 2017. Rio Tinto, Paraíba, Brasil.....	60
Tabela 6. Lixiviação de nitrogênio da solução do solo em diferentes períodos, nos manejos de 80, 40+40 e 80+40 $\text{kg ha}^{-1}$ de N na profundidade de 0,70 m.....	61
Tabela 7. Abundância de átomos de $^{15}\text{N}$ nas folhas +3, e acúmulo de nitrogênio na parte aérea, em relação ao manejo da adubação nitrogenada adotada ao longo do ciclo da cana soca.....	65
Tabela 8. Eficiência da recuperação do $^{15}\text{N}$ - fertilizante, em relação ao manejo da adubação nitrogenada adotada ao longo do ciclo da cana soca.....	68
Tabela 9. Concentração de nitrogênio no solo em três profundidades, durante o período de avaliação. Rio Tinto, Paraíba, Brasil.....	71

---

### 4. PRODUTIVIDADE E QUALIDADE TECNOLÓGICA DA CANA SOCA, EM RELAÇÃO A FONTES E MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA

---

Tabela 1. Caracterização química e física do solo da área experimental, nas profundidades de 0,0 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m.....	87
--	----

Tabela 2. Período (em DAP), acúmulo relativo e taxa máxima de acúmulo (TMAC) de matéria seca da parte aérea na cana soca.....	95
Tabela 3. Avaliações biométricas da cana-de-açúcar aos 360 dias após aplicação dos tratamentos.....	97
Tabela 4. Matéria seca da parte aérea (MSPA), produtividade de colmos (TCH) e tonelada de Pol por hectare (TPH), em relação a adubação nitrogenada com duas fontes diferentes aos 360 DAAT.....	98
Tabela 5. Atributos tecnológicos da cana-de-açúcar, em relação a adubação nitrogenada com duas fontes diferentes, aos 360 DAAT.....	101

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL .....	19
1.1 Hipóteses .....	20
1.2 Objetivo Geral .....	21
1.3 Objetivos específicos .....	21
2.1 Cana-de-açúcar .....	22
2.2 Solos de tabuleiro Costeiro.....	23
2.3 Dinâmica do nitrogênio no solo .....	23
2.4 Fontes de nitrogênio .....	27
2.5 Técnica isotópica com <sup>15</sup> N.....	29
REFERÊNCIAS .....	30
3 RECUPERAÇÃO E LIXIVIAÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA EM SOLO ARENOSO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR.....	39
RESUMO .....	40
ABSTRACT .....	41
3.1 INTRODUÇÃO.....	42
3.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	43
3.2.1 Área experimental.....	43
3.2.2 Descrição dos tratamentos e arranjo experimental .....	44
3.2.3 Quantificação do N-total e N-fertilizante lixiviado .....	46
3.2.3.1 Perdas de nitrogênio por lixiviação .....	47
3.2.3.2 Amostragem da solução e determinação do N lixiviado .....	47
3.2.4 Análise foliar .....	49
3.2.4.1 Recuperação do N do fertilizante durante o ciclo agrícola da cultura.....	49
3.2.5 Nitrogênio no solo .....	51
3.2.6 Análise estatística .....	51
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	52
3.3.1 Concentração de íons de nitrogênio na solução do solo.....	52
3.3.2 Concentração de N-total e Abundância de <sup>15</sup> N-fertilizante na solução do solo .....	55
3.3.3 Lixiviação de nitrogênio .....	59
3.3.4. Recuperação de Nitrogênio na planta.....	64
3.3.5 Nitrogênio no solo .....	70

3.4 CONCLUSÕES .....	74
REFERÊNCIAS .....	74
4 PRODUTIVIDADE E QUALIDADE TECNOLÓGICA DA CANA SOCA, EM RELAÇÃO A FONTES E MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA .....	81
RESUMO .....	82
ABSTRACT .....	83
4.1 INTRODUÇÃO.....	84
4.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	85
4.2.1 Área experimental.....	85
4.2.2 Descrição dos tratamentos e arranjo experimental .....	87
4.2.3 Produção de biomassa na parte aérea das plantas.....	88
4.2.4 Monitoramento do crescimento vegetativo da cana-de-açúcar .....	88
4.2.5 Avaliação da produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar .....	89
4.3 Análise estatística .....	89
4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	90
4.4.1 Biomassa da parte aérea .....	90
4.4.2 Monitoramento do crescimento vegetativo da cana-de-açúcar .....	96
4.4.3 Produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar .....	98
4.5 CONCLUSÕES .....	102
REFERÊNCIAS .....	102
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	107

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O cultivo da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) se destaca como a mais importante atividade agroeconômica voltada à produção de açúcar, etanol e energia elétrica no Brasil. Em virtude da crescente demanda por combustíveis e energia renovável, o etanol da cana-de-açúcar é considerado como uma fonte alternativa aos combustíveis fósseis, bem como o potencial aproveitamento de sua biomassa para produção de energia elétrica evidencia a importância, desta cultura, na matriz energética nacional.

A expansão da cultura da cana-de-açúcar no Nordeste brasileiro, principalmente nos tabuleiros costeiros, ocorreu por se tratar de uma região mais favorecida por chuvas em determinados períodos do ano; entretanto, a predominância de solos arenosos e a má distribuição e redução dos volumes de chuvas tem sido uma constante na região, nos últimos anos, trazendo prejuízos à cultura.

Os tabuleiros costeiros do Estado da Paraíba apresentam grande potencial para a produção da cana-de-açúcar, tendo esta importante participação na economia do Estado, contudo, a distribuição irregular de chuvas durante o período anual, com chuvas frequentes de março a julho, coincidindo com o período de adubação do canavial associada a textura arenosa do solo, resulta em menor armazenamento de água no solo durante o período seco favorecendo redução no crescimento e na produtividade da cultura, além das perdas de nutrientes durante o período de chuvas concentradas.

Dentre os macronutrientes, o nitrogênio (N) é considerado um dos mais limitantes da produtividade agrícola, sendo exigido em grandes quantidades pela cultura da cana-de-açúcar por participar de diversos compostos e processos fisiológicos nas plantas, sendo nutriente importante para o crescimento das plantas. O N é um nutriente complexo pelas múltiplas transformações que envolvem sobretudo, as reações de mineralização e mobilização mediados por micro-organismos e por sua mobilidade no sistema solo-planta.

O manejo da adubação nitrogenada da cana-de-açúcar em socaria tem sido feito de forma a aplicar o fertilizante em dose única na linha de plantio. Contudo, em condições de solos de tabuleiros, que são arenosos, a aplicação em dose única do fertilizante pode proporcionar perdas por lixiviação dos nutrientes. Alternativas ao manejo adotado na adubação nitrogenada da cana-de-açúcar em socaria, seria o emprego do parcelamento ou complementação da adubação, os quais promoverão menores perdas dos nutrientes por não ser aplicado em dose

única, podendo levar conseqüentemente a um maior aproveitamento da cultura, além da escolha de fontes de N menos susceptíveis a perdas.

Atualmente, os canaviais brasileiros vêm sendo submetido à colheita sem despalha a fogo, o que faz com que seja gerado e depositado sobre a superfície do solo uma camada espessa de palha, gerando desvantagem na aplicação da adubação nitrogenada quando aplicada em superfície; principalmente quando esse manejo deve ser realizado em soqueira, sendo o principal problema a fonte de N a ser utilizada na adubação.

Para a adubação nitrogenada em socaria colhidas sem queima, é necessário o uso de fontes nitrogenadas menos susceptíveis a perdas por volatilização, uma vez que, a palha dificulta a incorporação do adubo ao solo. Diante disso, faz-se necessário a utilização de fontes alternativas de N que promovam aumento no aproveitamento do N-fertilizante pelas culturas e apresentem menores perdas de N-NH<sub>3</sub>, visto que, mudança na fonte de fertilizante nitrogenado provavelmente tem efeitos diferentes na dinâmica de perda de N-NH<sub>3</sub>. Desse modo, o fertilizante nitrato de amônio e o sulfato de amônio são menos sujeitos a perdas por volatilização constituindo uma alternativa a utilização da uréia como fonte de N, tornando-se assim fontes alternativas a utilização da uréia.

Tendo em vista, a necessidade da adoção de manejo da adubação nitrogenada mais eficiente em socaria, faz-se necessário a utilização de tecnologias que permitem o maior entendimento da dinâmica do N no sistema solo-planta-atmosfera. Desse modo, o emprego da técnica isotópica com <sup>15</sup>N pode ser utilizada para quantificar os caminhos percorridos pelo N no solo. Possibilitando quantificar o aproveitamento do N proveniente de diferentes adubos pelas plantas cultivadas. Este tipo de técnica também é usado para fornecer ao objeto em estudo uma razão isotópica diferente da natural (<sup>15</sup>N/<sup>14</sup>N), avaliando-se em seguida a distribuição do isótopo no sistema em estudo.

Diante do exposto, o conhecimento das reações que interferem na dinâmica do N é essencial para auxiliar recomendações técnicas eficientes sobre o manejo da adubação nitrogenada em cana soca.

## 1.1 Hipóteses

- Em solo arenoso o potencial de perda de nitrogênio é maior, deste modo, o parcelamento e/ou complementação da adubação nitrogenada promoverá a redução das perdas e maior recuperação do nitrogênio do fertilizante com o uso de fontes adequadas.

- O aumento da concentração dos teores de nitrogênio no solo em virtude da redução das perdas, promoverá maior produtividade da cultura.

## **1.2 Objetivo Geral**

Avaliar o manejo da adubação nitrogenada na cultura da cana-de-açúcar em cana soca quando utilizado fontes e parcelamento e/ou complementação da adubação nitrogenada, em solo arenoso do Tabuleiro Costeiro paraibano.

## **1.3 Objetivos específicos**

- Avaliar o efeito do manejo da adubação nitrogenada sobre a biomassa produzida na parte aérea e nos atributos tecnológicos da cana soca.
- Quantificar as concentrações de íons de nitrogênio presente na solução do solo.
- Quantificar as perdas de N por lixiviação em duas fontes de fertilizantes nitrogenados sob o manejo do parcelamento ou adubação complementar.
- Estimar a recuperação do nitrogênio proveniente do fertilizante pela cana soca sob manejo de parcelamento ou complementação da adubação nitrogenada com duas fontes de nitrogênio.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é originária do Sudeste Asiático, mais precisamente da região Nova-Guiné e Indonésia, pertencente à família Poaceae é uma planta alógoma, semi-perene (DANIELS; ROACH, 1987; MATSUOKA; GARCIA; ARIZONO, 2005). No Brasil foi introduzida em meados de 1532 por Martins Affonso de Souza (SCHULTZ; REIS; URQUIAGA, 2015), participando do contexto histórico brasileiro como um dos principais produtos agrícolas do país (SIMÕES NETO, 2008).

O avanço tecnológico nos canaviais proporcionou aumentos significativos de produtividade no campo, contribuindo para tornar o Brasil o maior produtor mundial desta cultura, com produção estimada de 615,84 milhões de toneladas de colmos na safra 2018/2019, obtidos em pouco mais de 8,6 milhões de hectares, conferindo produtividade média nacional de 71,3 kg ha<sup>-1</sup> de colmos. A região Nordeste ocupa a última posição no ranque da produção nacional com 55.1 kg ha<sup>-1</sup> de colmos. O estado da Paraíba apresenta uma produção de aproximadamente 6,3 milhões toneladas de colmos sendo o 3º maior produtor de cana-de-açúcar do Nordeste (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2018).

A crescente demanda mundial por etanol, oriundo de fontes renováveis, tem tornado a cana-de-açúcar uma das grandes alternativas para o setor de biocombustíveis. A importância que a cultura da cana-de-açúcar representa, tanto no cenário nacional quanto internacional, traz inúmeros benefícios para o país. Entretanto, apesar das conquistas numéricas obtidas no campo, a produtividade dos canaviais ainda se encontra abaixo do potencial genético das cultivares atualmente utilizadas, estimado em valores superiores a 300 Mg ha<sup>-1</sup> (ALBUQUERQUE; SILVA, 2008).

A diminuição da produtividade e perda na qualidade dos canaviais pode ser atribuída tanto a exigências ambientais e de manejo bem como disponibilidade hídrica e à baixa oferta de nutrientes dos solos. Sendo assim, é de suma importância conhecer as exigências minerais da cana-de-açúcar a qual irá direcionar a novos métodos e formas de adubação mais eficazes, com menos desperdício e economicamente viáveis (OLIVEIRA, 2011; MANHÃES et al., 2015).

Dessa forma, observa-se a necessidade do maior conhecimento da nutrição dessas plantas, principalmente no que se refere a disponibilidade de nitrogênio (N), uma vez que, é o

nutriente exigido em maior quantidade pela cultura, sendo este nutriente considerado um dos mais limitantes da produtividade de plantas cultivadas (SANTOS et al., 2011.; MARIANO et al., 2016).

## **2.2 Solos de tabuleiro Costeiro**

Os solos dos Tabuleiros Costeiros ocupam uma área de 20 milhões de hectares, sendo distribuída ao longo da costa brasileira, ocupando uma faixa de largura variável, que vai do Estado do Amapá ao Rio de Janeiro, sendo originados de sedimentos do Grupo Barreiras (CORREIA et al., 2008).

São caracterizados principalmente por uma planície de 30 a 200 m de altitude, limitada por morros do cristalino na parte ocidental e pela baixada litorânea na parte oriental. No decorrer do período Quaternário, ocorreram sucessões de processos pedogenéticos, ocasionando remobilização. Desse modo, os tabuleiros abrangem platôs de origem sedimentar, que apresentam grau de entalhamento variável (JACOMINE, 2001; RIBEIRO, 2001). Estes solos, em geral, apresentam baixa CTC, elevada saturação por alumínio e elevada acidez (SOBRAL et al., 2009), além de possuírem camada coesa que dificulta a penetração das raízes e adequada distribuição da água ao longo do perfil do solo, podendo destacar a presença de Latossolos Amarelos (67,5%) Argissolos Amarelos (25%) (JACOMINE, 2001; BARRETO; FERNANDES, 2009). Compreende na região nordeste uma área de aproximadamente 8,42 milhões de hectares, englobando os estados entre Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas e Sergipe e Bahia (SILVA et al., 2014).

No Nordeste, esses solos apresentam diferentes características que influenciam em sua aptidão para uso agrícola e ocupação, necessitando de estudos mais detalhados. No Estado da Paraíba esses solos tem apresentado potencial para a produção da cana-de-açúcar, entretanto, a distribuição irregular de chuvas durante o período anual (DINIZ, 2013), coincidindo com o período de adubação do canavial e associada a textura arenosa do solo, resulta em menor armazenamento de água no solo durante o período seco, favorecendo redução no crescimento e na produtividade da cultura, além das perdas de nutrientes durante o período de chuvas concentradas (SILVA et al., 2014).

## **2.3 Dinâmica do nitrogênio no solo**

O N é um nutriente complexo pelas múltiplas transformações que envolvem sobretudo, as reações de mineralização e mobilização mediados por microrganismos e por sua mobilidade no sistema solo-planta, podendo ser considerado o nutriente mais difícil de ser manejado (VITTI et al., 2007 b).

Na natureza, o N pode ocorrer em oito estados de valência ou níveis de oxidação, como:  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NH}_3$  (amônio e amônia, valência -3),  $\text{N}_2$  (nitrogênio elementar, valência 0),  $\text{N}_2\text{O}$  (óxido nitroso, valência +1),  $\text{NO}$  (óxido nítrico; valência +2),  $\text{NO}_2^-$  (nitrito, valência +3),  $\text{NO}_2$  (dióxido de nitrogênio; valência +4) e  $\text{NO}_3^-$  (nitrato; valência +5), que lhe possibilita desempenhar seu complexo papel nos processos vitais; cuja quantidade e proporções são ditada pela cultura e seu estágio de desenvolvimento (TRIVELIN; FRANCO, 2011).

Contudo, a maior fração de N no solo encontra-se na forma orgânica, presente na MOS em diferentes moléculas e variados graus de recalcitrância, ou como parte de organismos vivos (CANTARELLA, 2007), cuja disponibilidade no solo é controlada sobretudo pela mineralização e imobilização do N, dois processos opostos e simultâneos que ocorrem durante a decomposição de materiais orgânicos e da MOS pela população microbiana (AITA; GIACOMINI, 2007). No entanto, aproximadamente 5% do N total do solo está em formas inorgânicas como os íons  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ , que são as formas preferenciais de absorção de N pelas plantas (JARVIS et al., 1996).

As vias de entrada do N no sistema solo-planta consistem pela fixação biológica (simbiótica ou assimbiótica), deposições atmosféricas e adubações minerais ou orgânicas (CANTARELLA, 2007). A quantidade de N proveniente da fixação biológica de N (FBN) correspondem a aproximadamente 65% de todo N aportado em sistemas agrícolas (REIS et al., 2006), sendo a simbiose da bactéria *Bradyrhizobium* com a soja, o caso de maior sucesso no Brasil, que chega a dispensar totalmente a adubação nitrogenada (BODDEY et al., 1990; HUNGRIA et al., 2006). O N proveniente de deposições atmosféricas por sua vez, é variável e depende do tipo e localização do ecossistema (ANDERSON; DOWNING, 2006), podendo chegar a  $60 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , quando na proximidade a áreas de pecuária intensiva (HAYASHI; YAN, 2010).

Em estudos realizados no Sudeste do Brasil, determinaram-se valores de deposição via chuvas de 2,3 e  $2,4 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , nas formas de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$ , respectivamente (ALLEN et al., 2011). Os fertilizantes nitrogenados aplicados no solo passam por uma série de transformações químicas e microbianas, que podem resultar em perdas.

Os meios de saída de N do sistema são muitos, valendo ressaltar, as principais perdas do ponto de vista ambiental, ocasionadas pela volatilização/emissão de amônia ( $\text{NH}_3$ ),

lixiviação de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), emissão de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) a partir do solo (CANTARELLA, 2007).

O potencial de perdas de N por volatilização de  $\text{NH}_3$  pode atingir valores de 17 a 60% (CANTARELLA et al., 2008). A magnitude dessas perdas ocorre em função de fatores relacionados à cultura, dose e método de aplicação do fertilizante, condições de clima e solo, bem como manejo do sistema. A volatilização de N- $\text{NH}_3$  pode diminuir significativamente a eficiência do manejo da adubação, além de contribuir com os impactos ambientais e mudanças no balanço energético global (IPCC, 2007). Sabe-se que o pH alcalino do solo próximo ao grânulo do adubo pode favorecer o processo de volatilização.

A volatilização de  $\text{NH}_3$  em condições de campo ocorre principalmente devido a presença de nitrogênio na matéria orgânica e da aplicação de fertilizantes. É um processo rápido que acontece principalmente nos primeiros 5 dias de adubação (LARA CABEZAS; KORNDORFER; MOTTA, 1997).

Em condições de solo arenoso com alto aporte de N via adubação, este nutriente pode ser perdido por meio da lixiviação de nitrato ou amônio no solo para fora da zona radicular (PEREGO et al., 2012). Essa perda pode alcançar grande magnitude, se este ânion estiver presente no solo em quantidades acima da capacidade de absorção pela cultura, visto que, este ânion não é adsorvido pelos colóides do solo, quando os mesmos apresentam predomínio de cargas negativas, permanecendo então, na solução do solo ficando susceptível aos processos de desnitrificação e lixiviação, sobretudo, este último quando a irrigação ou chuva exceder a capacidade de armazenagem de água do solo, isso devido a sua alta solubilidade em água, que faz com que, o nitrato possa ser lixiviado reduzindo assim, sua disponibilidade para as plantas, com graves riscos de contaminação das águas de subsuperfície (FILLERY, 2007; JADOSKI et al., 2010).

A textura do solo pode ter grande influência na magnitude do processo de lixiviação. Solos argilosos possuem maior capacidade de retenção de N, principalmente na forma de  $\text{NH}_4^+$ , do que solos arenosos. A maior capacidade de armazenamento de água dos solos argilosos reduz a percolação da água pelo perfil e, conseqüentemente, o arraste de nitrato para camadas inferiores do solo (BORTOLINI, 2000).

Trabalho realizado com  $^{15}\text{N}$  por Fernandes e Libardi (2009) mostraram que, as perdas por lixiviação do N proveniente do fertilizante podem ser mínimas, mesmo as perdas totais sendo maiores quando se aplica maiores doses de N. Ghiberto et al. (2011) estudando a lixiviação de N em Latossolo Vermelho Amarelo cultivado com cana-de-açúcar, constataram que somente 5% do N perdido por lixiviação era proveniente do fertilizante. Dessa forma, as

perdas de N provenientes do fertilizante podem representar apenas pequena porcentagem de perda total de N por lixiviação (GHIBERTO et al., 2011), indicando que a mineralização da matéria orgânica do solo (MOS) pode ser a fonte responsável por grande parte do N perdido por lixiviação em sistemas agrícolas de produção. Contudo, em condições de solo arenoso com precipitações seguida da aplicação do fertilizante, espera-se que os resultados sejam diferentes, visto que, esse solo apresenta baixa capacidade de retenção de água, o que promove a perda do nutriente junto com a água da chuva ao longo do perfil do solo.

Em uma análise contendo mais de 10 experimentos na qual se mensurou a lixiviação de nitrato utilizando fertilizante marcado em átomos de  $^{15}\text{N}$ , Cantarella (2007) demonstrou que a quantidade de N lixiviado é pequena devido as baixas doses de N aplicadas e ao parcelamento da adubação realizado na maioria dos experimentos. Por isso é importante a adoção de práticas de manejo que visem a reduzir as perdas de N no sistema.

Além das perdas de N por meio da lixiviação do  $\text{NO}_3^-$  e volatilização da  $\text{NH}_3$  a utilização de fertilizante nitrogenado resulta em emissões direta de gases do efeito estufa (GEE), a exemplo do óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), em que suas emissões ocorrem tanto no processo de fabricação quanto na aplicação ao solo (SAMBUICHI et al., 2012).

A cana-de-açúcar é cortada em mais de 28,7 milhões de hectares de terra a nível mundial (FAO, 2015). Os produtores de cana estão localizados em regiões tropicais e subtropicais, úmidas e 10 quentes, emitindo geralmente grandes quantidades de  $\text{N}_2\text{O}$ , na faixa entre 1,5 e 45,9 kg ha/ano de N - $\text{N}_2\text{O}$  (SOARES et al., 2015; WANG et al., 2016).

Estima-se que em termos globais, 60% do  $\text{N}_2\text{O}$  que é emitido constantemente é proveniente da agricultura, decorrente das atividades como, utilização de fertilizantes nitrogenados, mineralização da matéria orgânica do solo, decomposição de resíduos orgânicos e uso de adubos orgânicos (ALVES et al., 2012).

No Brasil, as emissões de óxido nitroso são oriundas principalmente dos solos, através da sua mudança de uso e manejo, representando cerca de 94% do total das emissões deste gás (CERRI; CERRI, 2007); sendo essas emissões devido ao manejo inadequado que ocasiona vários processos degradativos com alterações dos processos físicos, químicos e biológicos (WASSMANN; LEK, 2004).

Os dois principais processos responsáveis pela emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  do solo são, a nitrificação e a desnitrificação, que são influenciados por fatores como umidade, presença de oxigênio, temperatura e disponibilidade de N (LIMA et al., 2013).

O processo de nitrificação pode contribuir consideravelmente para as emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  em condições em que o solo tenha valores inferiores a 70% do espaço poroso preenchido por

água, particularmente valores entre 30 a 45% (KHALIL; BAGGS, 2005). A desnitrificação, por sua vez, pode contribuir em condições em que o solo se encontre com valores acima de 70% do espaço poroso preenchido por água (HUANG et al., 2014).

O  $N_2O$  pode ser produzido no solo durante o processo microbiano de desnitrificação, em que bactérias anaeróbicas facultativas utilizam o nitrato ( $NO_3^-$ ) como acceptor final de elétrons em substituição ao oxigênio ( $O_2$ ). Esse processo ocorre em condições de anoxia, sendo favorecido pela disponibilidade de carbono e pela presença de  $NO_3^-$ , proveniente da mineralização da matéria orgânica do solo e da aplicação de fertilizantes minerais e orgânicos (ALMEIDA et al., 2015).

Desse modo, o conhecimento dos processos envolvidos na incorporação e transformação do N sistema solo-planta-atmosfera é indispensável ao desenvolvimento de estratégias de manejo que aumentem o seu aproveitamento pelas culturas.

## 2.4 Fontes de nitrogênio

Normalmente os solos não conseguem suprir a demanda de N da cultura da cana-de-açúcar, fazendo-se necessário a realização de uma adubação com fertilizante nitrogenado. Existe no mercado várias fontes e fórmulas de fertilizantes nitrogenados inorgânicos sendo as mais consumidas no mundo: uréia, sulfato de amônio, fosfato monoamônio (MAP), nitrocálcio, amônia anidra, aquamônia, uran, fosfato diamônio (DAP), nitrato de sódio, nitrato de cálcio e nitrosfosfatos (MALAVOLTA et al., 2000).

Dentre as principais fontes nitrogenadas a mais utilizada é a ureia, por apresentar 45% de N em sua formulação e desta maneira obter melhor custo benefício, apresentando vantagens como a elevada concentração, menor custo de fabricação, alta solubilidade. Contudo, quando aplicada em superfície ou sobre a palhada, pode diminuir muito sua eficiência agrônômica, resultando em perda de  $N-NH_3$  por apresenta grande higroscopicidade (VITTI et al., 2007 b).

Vários estudos realizados em condições de campo no Brasil relatam perdas médias de 20-30% do N aplicado na forma de ureia em superfície (TRIVELIN et al., 2002, VITTI et al., 2007a, CANTARELLA et al., 2008), mas as perdas podem ser tão altas como 60% de N aplicado na forma de ureia em superfície (LARA CABEZAS et al., 1997, ROCHETTE et al., 2009).

O sulfato de amônio  $(NH_4)_2SO_4$ , embora tenha baixa concentração de N (21%), possui 24% de enxofre (S), que o torna importante, em especial para aplicação em solos carentes desse elemento, características típicas de muitas regiões do Brasil. Seu uso excessivo tende a

acidificar o solo, requerendo a correção do mesmo. Ele é um produto sólido, na forma de cristal ou granulado, produzido a partir da reação direta entre ácido sulfúrico e amônia. Entretanto, a maior parte de sua produção é originária do processo de produção de caprolactama, de metacrilato de metila ou mesmo de processos metalúrgicos ou outros de recuperação de gases sulfurados ( $\text{SO}_x$ ). No Brasil, o sulfato de amônio vem sendo muito usado em muitas culturas, como cana-de-açúcar e milho, devido à carência de S nos solos brasileiros, em 2006 o consumo de sulfato de amônio foi de 1.820.000 toneladas, sendo 87% oriundos do mercado externo. Atualmente, o Brasil é o maior importador de sulfato de amônio do mundo (FRANCO et al., 2007).

Em trabalho com cana-de-açúcar colhida mecanicamente sem queima, verificou-se que a aplicação de sulfato de amônio, tanto em faixa quanto em área total, promoveu perdas por volatilização de  $\text{NH}_3$  inferiores que, as observadas com o uso de uréia. Na aplicação em faixa, a perda de  $\text{NH}_3$  do sulfato de amônio foi da ordem de 2% do total aplicado, comparado a 32% de perda com o uso da uréia. Os autores também constataram que o sulfato de amônio proporcionou efeito residual na produtividade do ciclo subsequente, comparado à uréia, o que indica aumento na eficiência de aproveitamento do N pelas plantas (VITTI et al., 2007a).

O Nitrato de amônio apresenta-se na forma amoniacal e nítrica do mineral. Este fertilizante surge com uma alternativa a utilização da uréia, por não apresentar perdas significativas de amônia por volatilização, mesmo quando aplicado sobre a palhada. Contudo, apresenta parte do N na forma nítrica, sendo mais suscetível à lixiviação e que requer pela planta, após a absorção, maior gasto energético para assimilação em compostos orgânicos.

Uma outra fonte alternativa de nitrogênio para a cultura da cana-de-açúcar é o cloreto de amônio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ), que contém cerca de 25% de N. Pesquisas desenvolvidas no Japão e na Índia mostram boa eficiência do cloreto de amônio, que é muito usado, na produção de arroz (ASHRAF et al., 2005). O cloreto de amônio não é comercializado como fertilizante no Brasil, sendo utilizado apenas para fins industriais. Vieira et al. (2010), avaliando a resposta da cana-de-açúcar a doses de cloreto de amônio em Latossolo Vermelho, observaram aumento de produtividade no primeiro ano de sua aplicação, todavia, com queda na produção de colmos e açúcar no ano subsequente, quando foi avaliado o efeito residual dessa fonte.

Estratégias de manejo dentro dos sistemas de produção podem ser adotar, visando a redução dos gastos com adubos nitrogenados, como a utilização de adubos orgânicos tanto de origem animal (como dejetos suínos e cama de frango), quanto de origem vegetal como plantas de cobertura com alta capacidade de ciclagem de N e/ou capazes de fixar o  $\text{N}_2$ , especialmente leguminosas.

## 2.5 Técnica isotópica com $^{15}\text{N}$

A técnica isotópica com  $^{15}\text{N}$  pode ser utilizada para quantificar os caminhos percorridos pelo N no solo, possibilitando a determinação da recuperação do N no sistema solo-planta. O uso de isótopos estáveis, particularmente a análise da abundância natural de isótopos de N ( $\delta^{15}\text{N}$ ), constitui uma ferramenta bastante promissora na agricultura. O qual viabiliza quantificar o aproveitamento do N proveniente de diferentes adubos pelas plantas cultivadas. Essa técnica também é utilizada para propiciar ao objeto em estudo uma razão isotópica diferente da natural ( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ), aferindo-se em seguida a distribuição do isótopo no sistema em estudo (BENDASSOLLI; TRIVELIN; IGNOTO, 2002; MENDIZÁBAL et al., 2018).

Segundo Ceretta e Girotto (2011) uma das grandes dúvidas em relação à adubação nitrogenada é quanto realmente as plantas absorvem de fontes minerais ou orgânicas de N. Esse problema pode ser solucionado com o uso da técnica isotópica de N marcado, que utiliza isótopos estáveis de N ( $^{15}\text{N}$ ) como traçador, cujo fluxo de passagem e os sítios de residência podem ser identificados.

O uso dos isótopos de N é baseado no fato que a proporção  $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$  ocorre naturalmente numa razão quase constante de 273:1 (0,366% de átomos de  $^{15}\text{N}$ ). O isótopo estável do nitrogênio ( $^{15}\text{N}$ ) ocorre na natureza em concentrações mais baixas que seu correspondente  $^{14}\text{N}$ . Desse modo, avanços nas técnicas que utilizam a relação isotópica  $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$  no solo e nos tecidos das plantas desenvolvidas por Unkovich et al. (2008) evidenciam que o processo natural de FBN contribui significativamente para a nutrição nitrogenada da cana-de-açúcar (URQUIAGA et al., 2012). Essas técnicas mostram, ainda, que o isótopo  $^{15}\text{N}$  dilui-se nos tecidos das plantas com a diminuição do N disponível no solo, e que há redução gradual de  $^{15}\text{N}$  nos tecidos das plantas na medida em que o solo é exaurido com as colheitas sucessivas da cana-de-açúcar (URQUIAGA et al., 2012). De acordo com Unkovich et al. (2008), a redução da concentração do isótopo  $^{15}\text{N}$  nos tecidos vegetais ocorre devido à FBN, que incorpora o  $\text{N}_2$  atmosférico com 0,3663% de átomos de  $^{15}\text{N}$  (valor padrão da atmosfera), enquanto o N disponível no solo normalmente apresenta concentrações superiores do isótopo.

O método da diluição isotópica de  $^{15}\text{N}$  para medição da FBN tem maior custo e apresenta dificuldades adicionais para emprego em ensaios de campo devido à necessidade de marcação de grande volume de solo, no qual se monitora a taxa de mudança de seu conteúdo e de seu enriquecimento de  $^{15}\text{N}$  devido a diluição pela entrada de  $^{14}\text{N}$ .

A técnica da abundância natural é baseada no fato que o N no solo é enriquecido com isótopo  $^{15}\text{N}$ , em relação à proporção de  $^{15}\text{N}$  do ar, devido à discriminação isotópica durante as

transformações do N no solo (SHEARER; KOHL, 1992). O N presente nas plantas, absorvido do solo, tende a ter enriquecimento em  $^{15}\text{N}$  semelhante ao do solo. Porém, se o N das plantas tiver origem na FBN, o enriquecimento em  $^{15}\text{N}$  será menor, pois este vem da atmosfera (BODDEY et al., 2000; HOBBIE; OUIMETTE, 2009).

Trabalhos que utilizaram a aplicação de  $^{15}\text{N}$  em cana-de-açúcar relatam que, o aproveitamento do fertilizante é geralmente variável em função de condições ambientais e de manejo, permanecendo em diferentes níveis, normalmente abaixo de 40% em cana soca (FORTES et al., 2011; VITTI et al., 2011). As variações no aproveitamento de  $^{15}\text{N}$ -fertilizante pela cultura, podem estar associadas às possíveis perdas de N no sistema solo-planta (CANTARELLA; TRIVELIN; VITTI, 2007), e à elevada imobilização de N no solo (COURTAILLAC et al., 1998). Geralmente, a maioria do N recuperado nas plantas cultivadas é derivado do solo ao invés do fertilizante (DOURADO-NETO et al., 2010; FRANCO et al., 2011).

Os estudos de eficiência do uso do N também tem sido feito com compostos orgânicos (CHALK et al., 2013), esterco de animais (CHALK et al., 2014) e com fertilizantes de liberação lenta ou controlada enriquecidos em  $^{15}\text{N}$  (CHALK et al., 2015).

## REFERÊNCIAS

- ABBASI, M. K.; ADAMS, W. A. Estimation of simultaneous nitrification and denitrification in grassland soil associated with urea-N using  $^{15}\text{N}$  and nitrification inhibitor. **Biology and Fertility of Soils**, New York, v. 31, n. 1, p. 38–44, 2000.
- AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Matéria orgânica do solo, nitrogênio e enxofre nos diversos sistemas de exploração agrícola. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (Coord.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. 1. ed. Piracicaba: IPNI Brasil, p. 1-42, 2007.
- ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. S. Agricultura tropical: quatro anos décadas de inovação tecnológica, institucionais e políticas. Brasília: Embrapa **Informações Tecnológica**, v. 1: produção e produtividade agrícola, p. 1336, 2008.
- ALLEN, A. G.; MACHADO, C. M. D; CARDOSO, A. A. Measurements and modeling of reactive nitrogen deposition in southeast Brazil. **Environmental Pollution**, England. v. 159, n. 5, p. 1190-1197, 2011.
- ALMEIDA, R. F.; NAVES, E. R.; SILVEIRA, C. H.; WENDLING, B. Emissão de óxido nitroso em solos com diferentes usos e manejos: Uma Revisão. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá. v.8, n. 2, p. 441-461, 2015.

ALVES, B. J. R.; CARVALHO, A. M. JANTALIA, C. P.; MADARII, B. E.; URQUIAGA, S.; SANTOS, J. C. F.; SANTOS, H. P.; CARVALHO, C. J. R. Emissões de óxido nitroso e óxido nítrico do solo em sistemas agrícolas. In **Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira** – Brasília, DF: Embrapa, p.159-191, 2012.

ANDERSON, K. A.; DOWNING, J. A. Dry and wet atmospheric deposition of nitrogen, phosphorus and silicon in an agricultural region. **Water, Air, and Soil Pollution**, Switzerland. v. 176, n. 1-4, p. 351-374, 2006.

ASHRAF, M.Y.; ALVI, A.K.; SARWAR, G.; QURESHI, M.S.; ASHRAF, M.; HUSSAIN, M. Effect of ammonium chloride on the growth and nutrient uptake by cotton grown in alkaline soil. **Agrochimica**, Pacine, v. 49, p. 153-164, 2005.

BARRETO, A.C.; FERNANDES, M.F. **Manejo da adubação verde sobre atributos químicos e físicos de um Argissolo Amarelo dos Tabuleiros Costeiros**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2009. 15p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 55).

BENDASSOLLI, J. A.; TRIVELIN, P. C. O.; IGNOTO, R. F. Produção de amônia anidra e aquamônia enriquecida em  $^{15}\text{N}$  a partir de  $(^{15}\text{N}_4)_2\text{SO}_4$ . **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.9, n. 3, p. 595-603, 2002.

BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; PERES, J. R.; SUHET, A. R.; NEVES, M. C. P. Quantification of the contribution of  $\text{N}_2$  fixation to field-grown legumes: a strategy for the practical application of the  $^{15}\text{N}$  isotope dilution technique. **Soil Biology and Biochemistry**, England, v. 22, p. 649-655, 1990.

BODDEY, R. M.; PE, M. B, PALMER, B.; DARDO, P. J. Uso da técnica de  $^{15}\text{N}$  de abundância natural para quantificar a fixação biológica de nitrogênio por plantas perenes lenhosas. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Netherlands, n. 57, p. 235-270, 2000. Disponível em: < <https://doi.org/10.1023/A:1009890514844>>.

BORTOLINI, C. G. **Eficiência do método de adubação nitrogenada em pré-semeadura do milho implantado em semeadura direta após aveia preta**. 2000. 48f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2000.

CANTARELLA, H. **Nitrogênio**. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds.). Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS, p. 375-470, 2007.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C. Nitrogênio e enxofre na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (Eds.). **Nitrogênio e Enxofre na Agricultura Brasileira**, Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, p. 349-412. 2007.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; CONTIN, T. L. M.; DIAS, F. L. F.; ROSSETTO, R.; MARCELINO, R.; COIMBRA, R.B.; QUAGGIO, J. A. Ammonia volatilization from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, p. 397-401, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162008000400011>>.

CERETTA, J. C.; GIROTTO, E. Contexto para definir manejo de nitrogênio no sistema plantio direto. In: Fertilidade do solo e nutrição de plantas no sistema plantio direto. **ASSOCIAÇÃO DOS ENGENHEIROS AGRÔNOMOS DOS CAMPOS GERAIS**. Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2011.

CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Agricultura e aquecimento global. **Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 23, p. 40-44, 2007.

CHALK, P. M.; MAGALHÃES, A. M. T.; INÁCIO, C. T. Towards an understanding of the dynamics of compost N in the soil-plant-atmosphere system using  $^{15}\text{N}$  tracer. **Plant Soil**, Netherlands, v. 362, p. 373-388, 2013.

CHALK, P. M.; INÁCIO, C. T.; A. M. T. From fertilizer to food: tracing nitrogen dynamics in conventional and organic farming systems using  $^{15}\text{N}$  natural abundance. In: HENG, L. K.; SAKADEVAN, K.; DERCON, G.; NGUYEN, M. L. (Eds.). **Proceedings – International Symposium on Managing Soils for Food Security and Climate Change Adaptation and Mitigation**. Rome, Food and Agriculture Organization of United Nations, p. 339-349. 2014.

CHALK, P. M.; CRASWELL, E. T.; POLIDORO, J. C.; CHEN, D. Fate and efficiency of  $^{15}\text{N}$  labelled slow- and controlled-release fertilizers. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Netherlands, v. 102, p. 167-178, 2015.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**, v. 5 – Safra 2018/2019, n. 3 – terceiro Levantamento, Brasília, dez. 2018.

CORREIA, G. G.; MOURA, R. F.; RODRIGUES, J. J. V.; BARROS, M. F. C.; CORREIA, K. G. Caracterização da capacidade de retenção e disponibilidade de água em solos de tabuleiro costeiro paraibanos. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n.3, p.156-162, 2008.

COURTAILLAC, N.; BARAN, R.; OLIVER, R.; CASABIANCA, H.; GANRY, F. Efficiency of nitrogen fertilizer in sugarcane-vertical system in Guadeloupe according to growth and ratoon age of the cane. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Netherlands, v. 52, p. 9–17, 1998.

DANIELS, J.; ROACH, B. T. Taxonomy and evolution in sugarcane. In: D. J. HEINZ (ed.), Sugarcane improvement through breeding. **Elsevier Press**, Amsterdam, p. 7-84, 1987.

DINIZ, F. A. **Distribuição espaço-temporal de chuvas extremas no estado da paraíba**. 2013. 95f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal Campina Grande. Campina Grande. 2013.

DOURADO-NETO, D.; POWLSON, D.; ABU BAKAR, R.; BACCHI, O. O. S.; BASANTA, M. V.; CONG, P. T.; KEERTHISINGHE, G.; ISMAILI, M.; RAHMAN, S. M.; REICHARDT, K.; SAFWAT, M. S. A.; SANGAKKARA, R.; TIMM, L. C.; WANG, J. Y.; ZAGAL, E.; VAN KESSEL, C. Multiseason Recoveries of Organic and Inorganic Nitrogen-15 in Tropical Cropping Systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 74, n. 1, p. 139–152, 2010.

DUARTE, F. M. **Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia e eficiência da adubação nitrogenada na cultura do arroz irrigado**. 2006. 85f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

FAO. **Food and Agriculture Organisation of the United Nations e Statistics Division**. URL <http://faostat3.fao.org/>.2015.

FERNANDES, F. C. S.; LIBARDI, P. L. Drenagem interna e lixiviação de nitrato em um Latossolo sob sucessão milho-braquiária-milho, com diferentes doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 1163-1173, 2009.

FILLERY, I. R. P. Plant-based manipulation of nitrification in soil: a new approach to managing N loss? **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 294, n. 1-2, p. 1-4, 2007.

FORTES, C.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; FERREIRA, D. A.; FRANCO, H. C. J.; OTTO, R. Recovery of Nitrogen (N-15) by Sugarcane from Previous Crop Residues and Urea Fertilisation Under a Minimum Tillage System. **Sugar Tech**, Nova Deli, v. 13, n. 1, p. 42–46, 2011.

FRANCO, H. C. J.; VITTI, A. C.; FARONI, C. E.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O. Estoque de nutrientes em resíduos culturais incorporados ao solo na reforma de áreas com cana-de-açúcar. **STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 25, n. 6, p. 32-36, 2007.

FRANCO, H. C. J.; OTTO R.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; OLIVEIRA, E. C. A.; TRIVELIN, P. C. O. Nitrogen in sugarcane derived from fertilizer under Brazilian field conditions. **Field Crops Research**. Amsterdam, v.121, p. 29-41, 2011.

GHIBERTO, P. J.; LIBARDI, P. L.; BRITO, A. S.; TRIVELIN, P. C. O. Nitrogen fertilizer leaching in an Oxisol cultivated with sugarcane. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 68, n. 1, p. 86-93, 2011.

HAYASHI, K.; YAN, X. Y. Airbrne nitrogen load in Japanese and Chinese agroecosystems. **Soil Science and Plant Nutrition**, Oxfordshire, v. 56, n. 1, p. 2-18, 2010.

HOBBIE, E. A.; OUIMETTE, A. P. Controles de padrões de isótopos de nitrogênio em perfis de solo. **Biogeochemistry**. Dordrecht. v. 95, p. 355-371, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10533-009-9328-6>>.

HUANG, J.; CHEN, Y.; SUI, P.; NIE, S.; GAO, W. Soil nitrous oxide emissions under maize-legume intercropping system in the North China Plain. **Journal of Integrative Agriculture**, Oxfordshire, v. 13, n. 6, 1363-1372, 2014.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C.; GRAHAM, P. H. Contribution of biological nitrogen fixation to the N nutrition of grain crops in the tropics: the success of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) in South America. In: SINGH, R.P.; SHANKAR, N.; JAIWAL, P.K. (Coord.). **Nitrogen nutrition in plant productivity**, Houston: Studium Press, p. 43-93, 2006.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate Change 2007: the physical science basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, p. 996, 2007.

JACOMINE, P. K. T. Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil. In: Workshop Coesão em Solos dos Tabuleiros Costeiros. Aracaju (**Anais**), Embrapa Tabuleiros Costeiros, p. 19-45, 2001.

JADOSKI, S. O.; SAITO, L. R.; PRADO C.; SALES, L. S. R. Características da lixiviação de nitrato em áreas de agricultura intensiva. **Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia**, Guarapuava, v.3, p.193-200, 2010.

JARVIS, S. C.; STOCKDALE, E. A.; SHEPHERD, M. A.; POWLSON, D. S. Nitrogen mineralization in temperate agricultural soils: processes and measurement. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 57, p. 187-235, 1996.

KHALIL, M. I.; BAGGS, E. M. CH<sub>4</sub> oxidation and N<sub>2</sub>O emissions at varied soil waterfilled pore spaces and headspace CH<sub>4</sub> concentrations. **Soil Biology and Biochemistry**, England, v. 37, n. 10, p. 1785-1794, 2005.

LARA CABEZAS, W. A. R.; KORNDORFER, G. H.; MOTTA, S. A. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 489-496, 1997. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831997000300019>>.

LIMA, L. B. EMISSÕES DE N<sub>2</sub>O EM SISTEMAS AGRÍCOLAS. **Revista Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 9, n.16; p. 999, 2013.

MALAVOLTA, E.; GOMES, F. P.; ALCARDE, J. C. **Adubos e Adubações**. Editora Nobel, 2000. p. 200.

MANHÃES, C. M. C.; GARCIA, R. F.; FRANCELINO, F. M. A.; FRANCELINO, H. O.; COELHO, F. C. Fatores que afetam a brotação e o perfilhamento da cana-de-açúcar. **Vértices**, Campos dos Goytacazes/RJ, v.17, n.1, p. 163-181, 2015.

MARIANO, E.; LEITE, J. M.; MEGDA, M. X. V.; CIAMPITTI, I. A.; VITTI, A. C.; FARONI, C. E.; FRANCO, H. C. J.; TRIVELI, P. C. O. Biomass and nutrient content by sugarcane as affected by fertilizer nitrogen sources. **Crop Science**, Madison, v. 56, p. 1234-1244, 2016.

MATSUOKA, S.; GARCIA, A. A. F.; ARIZONO, H. Melhoria da cana-de-açúcar. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa, MG: Editora UFV. 2005. p. 225-274.

MENDIZÁBAL, T. F.; ESTAVILLO, J. M.; DUÑABEITIA.; HUÉRFANO, X.; CASTELLON, A.; MURUA, C. G.; AIZPURUA, A.; MORO, M. B. G. <sup>15</sup>N natural abundance evidences a better use of N sources by late nitrogen application in bread wheat. **Plant Science**. Shannon, v. 9, p. 853, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00853>>.

OLIVEIRA, E. C. A. **Balço nutricional da cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada**. 2011. 213 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2011.

PEREGO, A.; BASILE, A.; BONFANTE, A.; MASCELLIS, R.; TERRIBILE, F.; BRENN, S.; ACUTIS, M. Nitrate leaching under maize cropping systems in Po Valley (Italy). **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 147, p. 57- 65, 2012.

REIS, V. M.; OLIVEIRA, A. L. M.; BALDINI, V. L. D.; OLIVARES, F. L.; BALDINI, J. I. Fixação biológica de nitrogênio simbiótica e associativa. In: FERNANDES, M. S. (Coord.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 153-174, 2006.

RIBEIRO, L. P. Evolução da cobertura pedológica dos tabuleiros costeiros e a gênese dos horizontes coesos. In: Workshop coesão em solos dos tabuleiros costeiros, 2001. Aracaju. (Anais) Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, p. 93-121.

ROCHETTE, P.; ANGERS, D. A.; CHANTIGNY, M. H.; MACDONALD, J. D.; GASSER, M. O. AND BERTRAND, N. Reducing ammonia volatilization in a no-till soil by incorporating urea and pig slurry in shallow bands. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Netherlands, n. 84, p. 71-80, 2009.

SAMBUICHI, R. H. R.; OLIVEIRA, M. A. C.; DA SILVA, A. P. M.; LUEDEMANN G. A. **Sustentabilidade Ambiental da Agropecuária Brasileira: Impactos, Políticas Públicas e Desafios**. 2012. Disponível em: [http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1610](http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=1610). Acesso em: 05 de Janeiro de 2019.

SANTOS, D. H.; SILVA, M. A.; TRITAN, C.S.; FOLONI, J. S. S.; ECHER, F. R. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, p. 443–449, 2011.

SCHULTZ, N.; REIS, V; M.; URQUIAGA, S. **Resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada: fontes nitrogenadas, formas de aplicação, épocas de aplicação e efeito varietal**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, (Embrapa Agrobiologia. Documentos 298). ISSN: 1517-8498. p. 52, 2015.

SHEARER, G.; KOHL, D. H. Natural Abundance of <sup>15</sup>N: Fractional Contribution of Two Sources to a Common Sink and Use of Isotope Discrimination. In: KNOWLES, R.; BLACKBURN, T.H.; **Nitrogen Isotope Techniques**. London: Academic Press, 1992. p. 89-122.

SILVA, A. A. G.; BARRETO, A. C.; JUNIOR, L. R. N.; CUENCA, M. A. G.; FERNANDES, M. F.; GALINA, M. H.; SILVA, M. A. S.; CRUZ, M. A. S.; RESENDE, R. S.; IVO, W. M. P. M. **Delimitação da área de atuação da Embrapa Tabuleiros Costeiros**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros. Nº 09, p. 29, 2014.

SIMÕES NETO, D. E. **Avaliação da disponibilidade de fósforo e recomendação de adubação fosfatada para cana-planta em solos do estado de Pernambuco.** 2008. 106 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2008.

SOARES, J. R.; CANTARELLA, H.; VARGAS, V. P.; CARMO, J. B., MARTINS, A. A.; SOUSA, R. M.; ANDRADE, C. A. Enhanced-efficiency fertilizers in nitrous oxide emissions from urea applied to sugarcane. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 44 (2), p. 423-430, 2015.

SOBRAL, L. F.; CINTRA, F. L. D.; SMYTH, J. T. Lime and gypsum to improve root depth of orange crop in an Ultisol of the Coastal Tablelands. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 836-839, 2009.

TRIVELIN, P. C. O.; MANZONI, C. S. **Determinação de N amônia volatilizado do solo pelo método da difusão.** Piracicaba: Centro de Energia Nuclear na Agricultura, 11 p. Relatório do projeto Fapesp para bolsista de iniciação científica. (Disponível com o primeiro autor deste Boletim de P & D). 2002.

TRIVELIN, P. C. O. **Isótopos que não emitem radiações: PARA QUE SERVEM? Visão Agrícola**, Piracicaba, p. 25-26, 2004.

TRIVELIN, P. C. O.; FRANCO, H. C. J. Adubação nitrogenada e a sustentabilidade de agrossistemas. In: FILHO, O. K.; MAFRA, A. L.; GATIBONI, L. C. (Eds.). **Tópicos em ciência do solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 7, p. 193-219, 2011.

UNKOVICH, M.; HERRIDGE, D.; PEOPLES, M.; CADISCH, G.; BODDEY, R.; GILLER, K.; ALVES, B.; CHALK, P. **Measuring plant-associated nitrogen fixation in agricultural systems.** Canberra: Australian Centre for International Agricultural, 258p. (ACIAR monograph, 136). 2008.

URQUIAGA, S.; XAVIER, R. P.; MORAIS, R. F.; BATISTA, R. B.; SCHULTZ, N.; LEITE, J. M.; SÁ, J. M.; BARBOSA, K. P.; RESENDE, A. S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Evidence from field nitrogen balance and <sup>15</sup>N natural abundance data for the contribution of biological N<sub>2</sub> fixation to Brazilian sugarcane varieties. **Plant Soil**, Netherlands, v. 356, p. 5-21, 2012.

VIEIRA, M. X.; TRIVELIN, P. C. O.; FRANCO, H. C. J.; OTTO, R.; FARONI, C. E. Ammonium chloride as nitrogen source in sugarcane harvested without burning. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1165-1174, 2010.

VITTI, A. C.; ROSSETTO, R.; TRIVELIN, P. C. O. Uso do traçador <sup>15</sup>N no estudo de lixiviação em cana-de-açúcar. In: 15º Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP, 2007, Pirassununga. **Anais**, 2007a.

VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O.; GAVA, G. J. C.; FRANCO, H. C. J.; BOLONGNA, I. R.; FARONI, C. E. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada a localização de adubos nitrogenados aplicados sobre resíduos culturais em canavial sem queima. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 491-498, 2007 b.

VITTI, A. C.; FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O.; FERREIRA, D. A.; OTTO, R.; FORTES, C.; FARONI, C. E. Nitrogenio proveniente da adubação nitrogenada e de residuos culturais na nutrição da cana-planta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n.3, p. 287-293, 2011.

WANG, W. J.; REEVES, S. H.; SALTER, B.; MOODY, P. W.; DALAL, R. C. Effects of urea formulations, application rates and crop residue retention on N<sub>2</sub>O emissions from sugarcane fields in Australia. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 216, p. 137-146, 2016.

WASSMANN, R.; VLEK, P. L. G. Mitigating greenhouse gas emissions from tropical agriculture: scope and research priorities. **Environment, Development and Sustainability**, Dordrecht, n. 6, p. 1-9, 2004.



**3 RECUPERAÇÃO E LIXIVIAÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA EM SOLO  
ARENOSO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR**

## Recuperação e lixiviação da adubação nitrogenada em solo arenoso cultivado com cana-de-açúcar

### RESUMO

O N é o nutriente mais limitante ao desenvolvimento da cana-de-açúcar e a lixiviação é uma das principais vias de perdas de N em solos arenosos. Assim a adoção de manejos que visem o maior aproveitamento de N pela cultura é necessária para aumentar a produtividade e reduzir os impactos ambientais. Diante disso, o objetivo do trabalho foi avaliar as perdas de nitrogênio por lixiviação e a recuperação do  $^{15}\text{N}$ -fertilizante quando utilizado o parcelamento e complementação de duas fontes de fertilizantes nitrogenados em solo arenoso. O experimento foi instalado em condições de campo, em cana soca, no Tabuleiro Costeiro Paraibano em Março de 2017 em solo de textura arenosa localizado na área agrícola da destilaria Japungú, situado no Município de Santa Rita, PB. Os tratamentos consistiram da aplicação da dose de  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, nas fontes nitrato de amônio (33% de N) e sulfato de amônio (21% de N) aplicada sob os manejos: manejo 1 ( $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, aplicados em dose única no segundo mês após o corte (MAC), manejo 2 ( $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de N aplicado de forma parcelada na quantidade de  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  de N no segundo MAC e  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  de N no quarto MAC), manejo 3 ( $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de N aplicados em dose única no segundo MAC, mais complemento de  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  de N aplicados no quarto MAC) para cada fonte de N adotada respectivamente, e um tratamento adicional sem aplicação de fertilizante nitrogenado. Foram avaliadas as perdas de N via lixiviação e a recuperação do N-fertilizante pela planta durante o ciclo agrícola da cultura. Para quantificar o N lixiviado, foram instalados extratores de soluções em microparcelas adubadas com NA e SA enriquecidos a 2,00% em átomos de  $^{15}\text{N}$ . As entradas e saídas dos íons foram avaliadas a 0,7 m de profundidade, sendo quantificadas pela densidade de fluxo de água e a concentração dos elementos da solução no solo, utilizando tensiômetros e extratores de solução com cápsula porosa. O N se movimentou principalmente na forma de  $\text{NO}_3^-$ , devido a maior concentração na solução e menor interação com os coloides negativos do solo, correspondendo a proporção de 64% a 78% do total de N lixiviado. Entre os manejos, o parcelamento aumentou a lixiviação de N em 232 e 143% com uso do NA e SA respectivamente. A adubação complementar aumentou as perdas por lixiviação do N em 574 e 462%, respectivamente. A recuperação do fertilizante foi baixa, sendo no máximo de 5 % aos 30 dias após aplicação dos tratamentos DAAT, 16 % aos 90 DAAT e 18% aos 360 DAAT.

**Palavras-chaves:**  $^{15}\text{N}$ . Adubação nitrogenada. Tabuleiros Costeiros. Solução do solo. Nitrato.

## Recovery and leaching of nitrogen fertilizer in sandy soil cultivated with sugarcane

### ABSTRACT

N is the most limiting nutrient for the development of sugarcane and leaching is one of the main routes of N losses in sandy soils. Thus, the adoption of managements that aim at the greater use of N by the crop is necessary to increase productivity and reduce environmental impacts. Therefore, the objective of this work was to evaluate the losses of nitrogen by leaching and the recovery of  $^{15}\text{N}$ -fertilizer when using the split-up and complementation of two sources of nitrogen fertilizers in sandy soil. The experiment was carried out in field conditions, in cana soca, on the Coastal Tableland Paraibano in March 2017 in sandy soil located in the agricultural area of the Japungú distillery, located in the Municipality of Santa Rita, PB. The treatments consisted of the application of  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  of N in the sources of ammonium nitrate (33% N) and ammonium sulphate (21% N) applied under management: management1 ( $80 \text{ kg ha}^{-1}$  of N, applied in a single dose in the second month after cutting (MAC), management 2 ( $80 \text{ kg ha}^{-1}$  of N applied in installments in the amount of  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  of N in the second MAC and  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  of N in room MAC), handling 3 ( $80 \text{ kg ha}^{-1}$  of N applied in a single dose in the second MAC, plus complement of  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  of N applied in the MAC room) for each source of N adopted respectively, and a treatment N losses were evaluated by leaching and recovery of the N-fertilizer by the plant during the agricultural cycle of the crop. To quantify leached N, solution extractors were installed in microparcels fertilized with NA and SA enriched to 2.00% in  $^{15}\text{N}$  atoms. The inputs and outputs of the ions were evaluated at 0.7 m depth, sin were quantified by the water flux density and the concentration of solution elements in the soil using tensiometers and solution extractors with porous capsule. The N increased mainly in the form of  $\text{NO}_3^-$ , due to the higher concentration in the solution and lower interaction with the negative colloids of the soil, corresponding to the proportion of 64% to 78% of the total N leachate. Among the managements, the parceling increased leaching of N in 232 and 143% with use of NA and SA respectively. Complementary fertilization increased N leaching losses by 574 and 462%, respectively. Fertilizer recovery was low, being at most 5% at 30 days after application of DAAT treatments, 16% at 90 DAAT and 18% at 360 DAAT.

Keywords:  $^{15}\text{N}$ . Nitrogen fertilization. Coastal Tracks. Soil solution. Nitrate.

### 3.1 INTRODUÇÃO

O nitrogênio é o segundo macronutriente mais requerido pela cultura da cana-de-açúcar, perdendo apenas para o potássio, no entanto, na maioria das vezes, a quantidade naturalmente disponível no solo é insuficiente para suprir a demanda da cultura. Desse modo, a fertilização dos solos com N é realizada visando não somente o suprimento do nutriente como aumentar a produtividade da cultura. Contudo, a aplicação excessiva de N no solo pode provocar a perda desse nutriente por meio da lixiviação de nitrato ou amônio no solo para fora da zona radicular (PEREGO et al., 2012), resultando em baixa recuperação do N de fertilizantes nitrogenados aplicados à cultura.

A magnitude do processo de lixiviação também pode ser influenciada pelo tipo de solo. Solos argilosos apresentam maior capacidade de retenção de nitrogênio, sobretudo, na forma de  $\text{NH}_4^+$ , em relação aos solos arenosos. A maior capacidade de armazenamento de água dos solos argilosos reduz a percolação da água pelo perfil, portanto, o arraste de nitrato para camadas inferiores do solo (BORTOLINI, 2000). A matéria orgânica também influencia na lixiviação de  $\text{NO}_3^-$ , devido a maior disponibilidade de N resultante de sua decomposição.

A forma de aplicação do adubo nitrogenado é um outro fator que pode influenciar as perdas de N por lixiviação. A aplicação de fertilizantes amoniacais e amídicos em superfície ou em solos secos resultam nas perdas de N via volatilização da amônia (BOUWEESTER et al., 1985). Sendo esta volatilização intensificada quando os resíduos culturais ficam sobre a superfície do solo. Por outro lado, quando se aplica e incorpora o fertilizante nitrogenado, as perdas de N ocorrem via lixiviação, devido a redução das perdas por volatilização, o que resulta em maior concentração de N na solução do solo, estando este suscetível a perdas por lixiviação, sobretudo, quando a irrigação ou chuva exceder a capacidade de armazenagem de água do solo (FILLERY, 2007; JADOSKI et al., 2010).

As quantidades de  $\text{NO}_3^-$  no perfil, susceptíveis à perda, são muito variáveis: dependem da quantidade de nitrogênio adicionado, da composição do adubo, da taxa de mineralização do nitrogênio nativo, da remoção pelas colheitas, do tipo de cultura e do volume de água percolada. Esses fatores são influenciados pelas características do solo (CTC, pH, textura, estrutura, matéria orgânica, relação C/N, etc.) e pelas condições meteorológicas (precipitação) (REICHARDT; TIMM, 2012).

Alternativas para minimizar a lixiviação de  $\text{NO}_3^-$  no perfil do solo, é a utilização do parcelamento da adubação nitrogenada, que tem sido uma estratégia eficiente utilizada nos cultivos. Isso é resultante da combinação entre a aplicação e o período de alta demanda do

nutriente (ARNUTI et al., 2017). E a complementação da adubação visando o suprimento adequado da cultura, visto que, boa parte do N aplicado via fertilização é perdido, havendo assim baixo aproveitamento pela cultura.

Resultados obtidos em diversos trabalhos realizados com fertilizantes nitrogenados marcados com o isótopo  $^{15}\text{N}$  evidenciam a variabilidade do aproveitamento do  $^{15}\text{N}$ -fertilizante pela cultura da cana-de-açúcar. Com o atual manejo na cana-crua, são raros os relatos em que a cana-de-açúcar consiga recuperar mais de 40% do N-fertilizante (FRANCO et al., 2008; VITTI et al., 2011; MEGDA et al., 2012), evidenciando a necessidade de se realizar a complementação da adubação.

Assim o objetivo desse trabalho foi avaliar as perdas de nitrogênio por lixiviação, a recuperação do  $^{15}\text{N}$  do fertilizante quando utilizado fontes, parcelamento e complementação da adubação nitrogenada em solo arenoso.

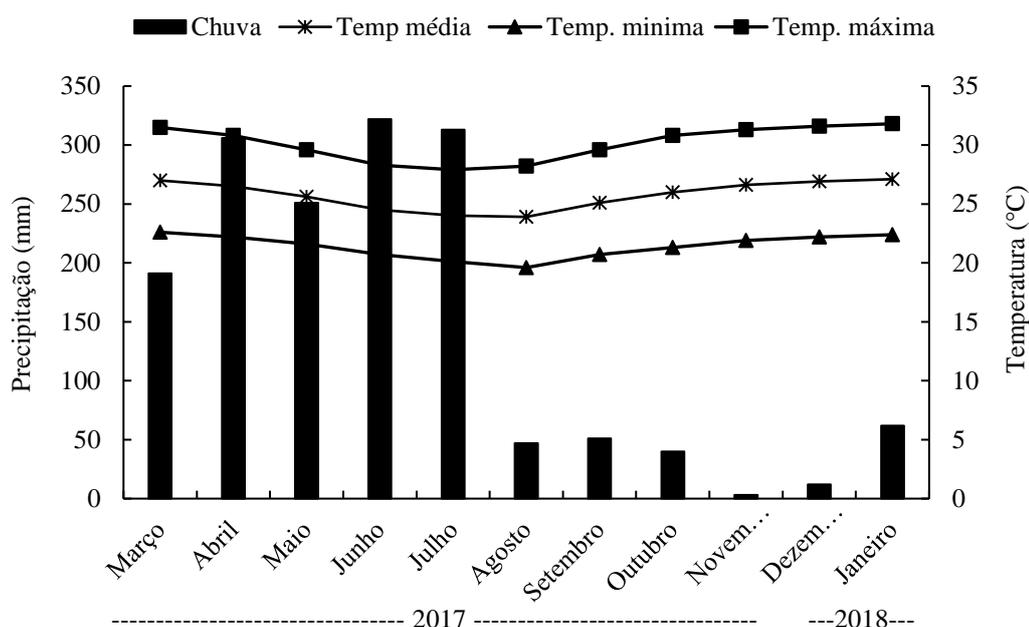
## 3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.2.1 Área experimental

A pesquisa foi realizada em condições de campo no período de março de 2017 a janeiro de 2018, durante a safra agrícola de 2017/2018 no ciclo de cana soca (primeira rebrota). O experimento foi implantado na área agrícola da Destilaria Japungu, situado no município de Rio tinto, PB, o clima da região é classificado como As, quente e úmido.

O solo da área experimental foi classificado como Espodossolo Humulúvico órtico, dúrico (Embrapa, 2013). A caracterização química e física foi realizada nas profundidades 0,0 - 0,20 e 0,20 - 0,40 (Tabela 1). Durante a condução do experimento a precipitação acumulada foi de 1.598,0 mm (Figura 1).

Quimicamente o solo foi caracterizado pelo pH ( $\text{H}_2\text{O}$ ),  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ , ( $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ), P, M.O. O  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  foram extraídos com  $\text{KCl}$   $1,0 \text{ mol L}^{-1}$  e dosados por titulometria; o P,  $\text{K}^+$ , foram extraídos por Mehlich-1, sendo o P dosado por colorimetria, o  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$  por fotometria de chama (EMBRAPA, 2009). A acidez potencial ( $\text{H} + \text{Al}^{3+}$ ) foi extraída com acetato de cálcio  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  e dosado por titulometria. A matéria orgânica (M.O) foi determinada pelo método colorimétrico (RAIJ et al., 2001). Com os resultados das análises químicas foram calculados a soma de bases (SB), CTC efetiva (t), CTC potencial (T), saturação por alumínio (m) e saturação por bases (V).



**Figura 1.** Precipitação pluviométrica durante a condução do experimento, em Rio Tinto – Paraíba

Fisicamente foi determinado no solo a granulometria, definindo sua classe textural de acordo com Gee e Or (2002), a densidade do solo, a densidade das partículas, umidade na capacidade de campo ( $\theta_{CC}$ ) e no ponto de murcha permanente ( $\theta_{PMP}$ ) seguindo os procedimentos descrito em Embrapa (1997) (Tabela 1).

### 3.2.2 Descrição dos tratamentos e arranjo experimental

Os tratamentos constaram na avaliação de três manejos da adubação nitrogenada, duas fontes de fertilizantes nitrogenados e o tratamento controle sem adição do N. As fontes utilizadas foram o nitrato de amônio (33% de N) e sulfato de amônio (21% de N) na dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de N, aplicada sob os manejos: manejo1 (80 kg ha<sup>-1</sup> de N, aplicados em dose única no segundo mês após o corte (MAC), manejo 2 (80 kg ha<sup>-1</sup> de N aplicado de forma parcelada na quantidade de 40 kg ha<sup>-1</sup> de N no segundo MAC e 40 kg ha<sup>-1</sup> de N no quarto MAC), manejo 3 (80 kg ha<sup>-1</sup> de N aplicados em dose única no segundo MAC, mais complemento de 40 kg ha<sup>-1</sup> de N aplicados no quarto MAC), e um tratamento adicional sem aplicação de fertilizante nitrogenado. A primeira adubação foi realizada em 08/03/2017 e a segunda adubação foi realizada em 08/05/2017.

**Tabela 1.** Caracterização química e física do solo da área experimental, nas profundidades de 0,0 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m

<i>Atributos do Solo</i>	<i>Química do Solo</i>	
	<i>Profundidade (m)</i>	
	0,0-0,20	0,20-0,40
pH (H <sub>2</sub> O 1:2,5)	6,49	5,57
H + Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,16	2,35
Ca <sup>+2</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,22	0,74
Mg <sup>+2</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,33	0,11
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,16	0,14
Na <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,15	0,09
SB <sup>(1)</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,46	1,58
CTC <sub>potencial</sub> <sup>(2)</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,62	3,93
CTC <sub>efetiva</sub> <sup>(3)</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,46	1,77
V <sup>(4)</sup> (%)	67,96	40,20
m <sup>(5)</sup> (%)	0,00	10,73
M.O (g kg <sup>-1</sup> )	5,1	2,9
P (mg dm <sup>-3</sup> )	1,41	1,14
	<i>Física do Solo</i>	
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	901,0	924,4
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	38,4	3,6
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	60,5	72,1
Ds <sup>(6)</sup> (g cm <sup>-3</sup> )	1,42	1,44
Dp <sup>(7)</sup> (g cm <sup>-3</sup> )	2,67	2,68
e <sub>vcc</sub> <sup>(8)</sup> (cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup> )	0,15	0,17
e <sub>v<sub>pmp</sub></sub> <sup>(9)</sup> (cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup> )	0,11	0,14
Classe Textural	Arenosa	Arenosa

<sup>(1)</sup> Soma de base; <sup>(2)</sup> Capacidade de troca de cátions potencial; <sup>(3)</sup> Capacidade de troca de cátions efetiva <sup>(4)</sup> Saturação por bases; <sup>(5)</sup> Saturação por alumínio; <sup>(6)</sup> densidade do solo; <sup>(7)</sup> Densidade das partículas; <sup>(8)</sup> Capacidade de campo; <sup>(9)</sup> Ponto de murcha permanente

Os fertilizantes nitrogenados foram aplicados manualmente sobre a superfície da palha residual de cana-de-açúcar, em faixa distante 0,1 m da linha da cultura. Em cada parcela, foram aplicados também, 120 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O com a fonte cloreto de potássio (KCL).

Os tratamentos foram dispostos em arranjo fatorial de (3 x 2) + 1, sob o delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições. As parcelas experimentais foram constituídas de 4 linhas duplas de cana-de-açúcar com 10 m de comprimento. A área útil da parcela abrangerá as duas linhas centrais (1 linha dupla) com oito metros de comprimento. No interior de cada parcela foi instalada uma microparcela, com 1 m de comprimento, que recebeu o fertilizante marcado com <sup>15</sup>N (2% em átomos de <sup>15</sup>N). O fertilizante marcado foi produzido pelo Laboratório de Isótopos Estáveis do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (USP) segundo procedimento descrito em Maximo et al. (2005). Para avaliar o efeito dos tratamentos

foi utilizada a variedade de cana-de-açúcar, RB92579, escolhida por ser muito cultivada no Brasil (CHAPOLA et al., 2012).

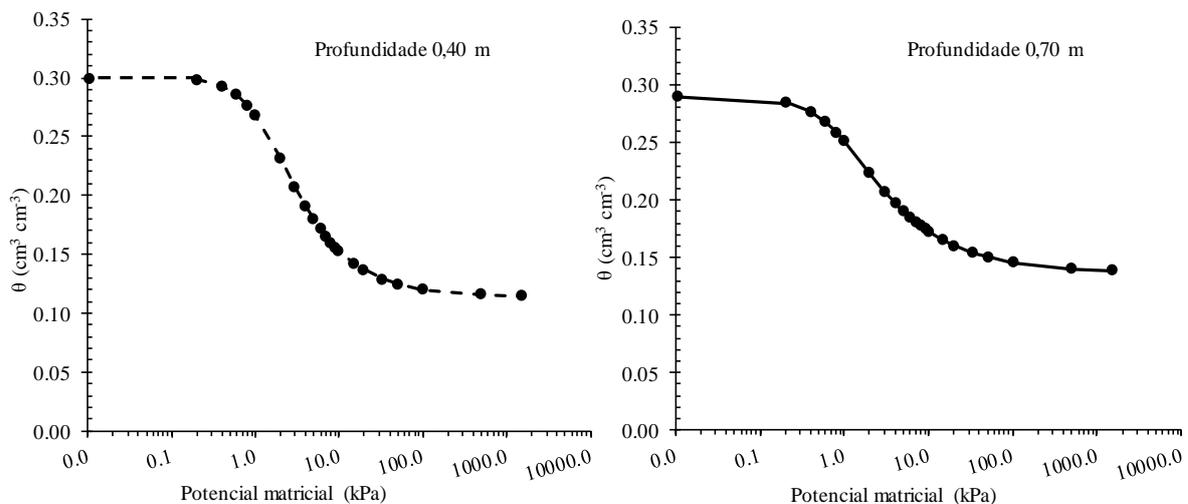
### 3.2.3 Quantificação do N-total e N-fertilizante lixiviado

Após a aplicação do fertilizante nitrogenado enriquecido com  $^{15}\text{N}$  foram instalados três tensiômetros nas profundidades 0,6, 0,7 e 0,8 m e um extrator de solução do solo na profundidade de 0,70 m, ao lado da linha de aplicação dos fertilizantes nitrogenados. A profundidade foi escolhida uma vez que 80% das raízes ativas foram observadas nos primeiros 0,4 m de profundidade, e a partir desta profundidade o N encontrado seria considerado lixiviado (BALL-COELHO et al., 1992; SMITH; INMAN-BAMBER; THORBURN, 2005).

No momento da instalação dos tensiômetros e extratores de solução, o solo retirado da abertura com o trado rosca foi misturado com água e novamente recolocado no fundo da abertura a fim de melhorar o contato solo-cápsula, facilitando a alocação da cápsula porosa. O extrator foi cuidadosamente inserido na abertura, de modo que a cápsula porosa ficasse bem assentada e sem contato com o ar. A abertura foi então preenchida com o restante de solo.

Os tensiômetros foram utilizados para medir o potencial mátrico da água no solo, em condições de campo. As leituras foram realizadas com o auxílio de tensímetro analógico acoplado aos tensiômetros.

Com a finalidade de determinar o conteúdo de água retida no solo e sua respectiva energia de retenção ( $\Psi$ ) foi realizada a construção da CCRAS (LIBARDI, 2005; CARDUCCI et al., 2016) (Figura 2).



**Figura 2.** Curva Característica de Retenção de Água no Solo (CCRAS) ajustada ao modelo de Van Genuchten para cada profundidade de solo estudada

**Tabela 2.** Parâmetros de ajuste (coeficientes) da CCRAS para as profundidades de 0- 0,40 m e 0,0- 0,70 m

Profundidade (m)	CCRAS <sup>(1)</sup>				
	$\theta_s^a$	$\theta_r^a$	$\alpha^b$	$n^b$	$m^b$
0,00 – 0,40	0,30	0,11	0,071	1,794	0,442
0,40 – 0,70	0,29	0,14	0,110	1,603	0,376

<sup>a</sup> = cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>; <sup>b</sup> = adimensional. <sup>(1)</sup> CCRAS: curva característica de retenção de água no solo.

Utilizou-se as profundidades de 0,4 e 0,7 m, para poder se observar o comportamento da água ao longo do perfil e não somente na profundidade de interesse de estudo (0,7 m).

### 3.2.3.1 Perdas de nitrogênio por lixiviação

### 3.2.3.2 Amostragem da solução e determinação do N lixiviado

O extrator de solução do solo foi composto de tubo de PVC, conectado na extremidade inferior a uma cápsula de cerâmica porosa. Na extremidade superior o extrator foi vedado com rolha, pela qual foi aplicado o vácuo e posteriormente conectado a uma seringa por onde foi coletada a solução. O vácuo de 70 kPa foi aplicado após a ocorrência de chuvas significativas (>14 mm), com o auxílio de uma bomba de vácuo, sendo posteriormente coletada a solução do solo no intervalo de 12 a 24 h após a aplicação do vácuo.

As extrações de solução do solo foram realizadas em função da ocorrência das chuvas. O volume extraído variou com a umidade do solo. No momento da realização da coleta da solução, foi verificada a umidade do solo por meio de tensiômetros instalados nas microparcelas experimentais.

As amostras de solução do solo foram coletadas durante os meses de Abril; Maio; Junho e Julho de 2017. Posteriormente foram acondicionadas em frascos de plástico devidamente identificados acondicionadas em refrigerador, congeladas para evitar alterações e, então encaminhada para análise da concentração dos íons.

No dia anterior à determinação, as amostras a serem analisadas eram descongeladas e esperavam-se 12 horas para que a temperatura de cada amostra se equilibrasse com a do ambiente. Posteriormente, a solução retirada do solo era filtrada em papel de filtro de celulose de 0,45 $\mu$ m visando eliminar particulados em suspensão. Após a filtração foram determinadas

as concentrações dos ânions ( $\text{NO}_3^-$ ;  $\text{NO}_2^-$ ;  $\text{NH}_4^+$ ) por cromatografia iônica (TABATAI; BASTA, 1991).

Depois de realizadas as análises de concentração dos íons por cromatografia de íons, utilizaram-se as amostras para determinar a abundância isotópica de  $^{15}\text{N}$ . Como o teor de nitrogênio da solução no solo era menor que a capacidade de detecção do espectrômetro de massa, foi necessária juntar amostras de solução, afim de que apresentassem aproximadamente 0,05-0,1 mg de N. Assim, foram formados 25 grupos de amostras ordenadas de forma cronológica, considerando a data de extração no campo.

Após a junção das amostras, a solução do lixiviado foi levada para concentrar em estufa ventilada a  $40^\circ\text{C}$  (até o volume reduzir em cerca de 50 ml) as amostras foram destiladas no destilador micro Kjeldahl, no qual foram adicionados NaOH concentrado + Liga de Dewarda (no qual o NaOH irá alcalinizar o meio e a Liga de Dewarda irá reduzir o  $\text{NO}_3^-$  para  $\text{NH}_4^+$ ). O destilado foi coletado em solução de ácido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ), sendo tituladas com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,05 mol  $\text{L}^{-1}$  (TRIVELIN et al., 1973). Posteriormente a amostra titulada foi acidificada com 0,1 ml de solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1 N. As amostras foram levadas novamente para estufa de ventilação a  $40^\circ\text{C}$  até secagem completa e formação do sal contendo N.

Após a etapa de secagem, o sal foi raspado, e as amostras foram acondicionado em eppendorf pequeno identificadas e enviadas para o CENA para determinação da abundância isotópica em espectrômetro de massas acoplado com analisador de N, modelo ANCA-GSL. A porcentagem de N na solução proveniente do fertilizante (%NSSPF) foi calculada pela equação adaptada de Hauck; Meisinger; Mulvaney. (1994):

$$\% \text{NSSPF} = [(\text{Atom}\%_{\text{solução}} - \text{Atom}\%_{\text{solo}}) / (\text{Atom}\%_{\text{fertilizante}} - \text{Atom}\%_{\text{solo}})] \times 100 \quad (1)$$

Em que: Atom%  $^{15}\text{N}$  é a abundância do fertilizante (2%) e do solo (0,367%).

O movimento dos íons de  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{NH}_4^+$  foi quantificado integrando o fluxo de íons no tempo, tal como indicado na equação:

$$q_{\text{NO}_3^-} = \int_{t_0}^{t_f} q_w C_{\text{NO}_3^-} dt \quad (2)$$

Em que:

$q_{\text{NO}_3^-}$  ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) é o fluxo de nitrato no solo,  $q_w$  representa a densidade do fluxo de água do solo ( $\text{m dias}^{-1}$ ), e  $C_{\text{NO}_3^-}$  é a concentração de nitrato na solução do solo ( $\text{g kg}^{-1}$ ) no momento da

medição,  $t_0$  e  $t_f$  representam o tempo inicial (instalação dos extratores) e tempo final (colheita) do experimento.

Com os resultados, foram determinadas as concentrações de nitrogênio derivado do fertilizante ( $C_{nf}$ ), de acordo com a equação:

$$C_{nf} = \frac{\%NSSPF}{100} \times C_{CN_3^-} \quad (3)$$

Sendo % NSSPF a percentagem de  $NO_3^-$  da solução no solo proveniente de fertilizante,  $C_{CN_3^-}$  é a concentração de  $NO_3^-$  da solução no solo.

Para calcular o fluxo de N lixiviado foi realizado ensaios de condutividade hidráulica saturada pelo método do permeâmetro de carga constante, conforme descrito por Reynolds; Elrick (2002). Foi estimada a condutividade hidráulica do solo não saturado, pelo método de Van Genuchten (1980), em que, combina o modelo de curva de retenção com o modelo de Mualem (1976).

O fluxo de água no solo foi estimado pela equação de Darcy-Buckingham (equação 4).

$$q_{z=0,7} = -K(\theta)[\Delta(\Psi_t)/L] \quad (4)$$

Em que:  $q_z$  é o fluxo de água no solo ( $m \text{ dia}^{-1}$ ) a 0,7 m de profundidade;  $K(\theta)$  é a condutividade hidráulica no solo para o conteúdo volumétrico de água ( $\theta$ ) a 0,7 m de profundidade ( $m \text{ dias}^{-1}$ ) e  $\Delta\Psi_t/L$  é o gradiente de potencial total da água no solo. A profundidade de controle de 0,7 m foi escolhida porque 80% das raízes estão nos primeiros 0,6 m de profundidade, desse modo, a maior proporção de raízes ativas se encontram nesta profundidade (BALLCOELHO et al., 1992; SMITH; INMAN-BAMBER; THORBURN, 2005).

Para a determinação do  $\Delta\Psi_t/L$  foram instalados tensiômetros nas profundidades de 0,4 e 0,7 m em cada uma das parcelas experimentais, sendo o gradiente de potencial total da água no solo ( $\Delta\Psi_t/L$ ) calculado como  $(\Psi_t^{(0,4)} - \Psi_t^{(0,7)})/0,3$ , sendo  $\Psi_t^{(0,4)}$  e  $\Psi_t^{(0,7)}$  os potenciais totais da água no solo a 0,4 e 0,7 m de profundidade e 0,3 m correspondente à distância que separa os tensiômetros, L.

### 3.2.4 Análise foliar

#### 3.2.4.1 Recuperação do N do fertilizante durante o ciclo agrícola da cultura

O nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (NDFP) na parte aérea da soca, foi quantificado na folha diagnóstica (Folhas +3). Sendo considerada como Folha +3 a terceira folha de cima para baixo com lígula visível (RAIJ et al., 1996). As coletas foram realizadas aos 30, 90 e 360 dias após a aplicação dos tratamentos, sendo coletado 4 folhas +3 no centro de cada microparcela, que constituíram uma amostra. Adicionalmente, também foram coletadas 4 Folhas +3 nas linhas adjacentes as microparcelsas, que formaram a segunda amostra. A coleta das folhas adjacentes foi adotada porque as plantas vizinhas da microparcela também absorvem  $^{15}\text{N}$  aplicado à microparcela, e essa quantidade precisa ser contabilizada nos cálculos de N recuperado pelas plantas.

As folhas diagnósticas foram cortadas em três partes e o terço médio sem a nervura central foi utilizada na análise de N e  $^{15}\text{N}$  (% em átomos de  $^{15}\text{N}$ ) em espectrômetro de massa acoplado a um analisador ANCA-GSL. Com os valores de abundância em % átomos de  $^{15}\text{N}$  da Folha +3 e as quantidades de N acumuladas na parte aérea da cana-de-açúcar, foi realizado os cálculos de N na parte aérea proveniente do fertilizante (NDFP) expresso em  $\text{kg ha}^{-1}$  (TRIVELIN et al., 1994). Os resultados serão obtidos por meio da equação a seguir:

$$\text{NDFP (\%)} = [(a-b)/(c-b)] \times 100 \quad (5)$$

$$\text{NDFFLC (kg ha}^{-1}\text{)} = (\text{NDFFLC (\%)} / 100) \times \text{N-total} \quad (6)$$

$$\text{NDFFLA (kg ha}^{-1}\text{)} = 2 \times (\text{NDFFLA (\%)} / 100) \times \text{N-total} \quad (7)$$

$$\text{NDFP Total (kg ha}^{-1}\text{)} = \text{NDFFLC (kg ha}^{-1}\text{)} + \text{NDFFLA (kg ha}^{-1}\text{)} \quad (8)$$

Em que:

NDFP, nitrogênio na parte aérea da planta proveniente do fertilizante;

a, abundância em átomos de  $^{15}\text{N}$  na planta;

b, abundância em átomos de  $^{15}\text{N}$  no fertilizante;

c, abundância natural em átomos de  $^{15}\text{N}$  (0,336%);

N-total, nitrogênio total da parte aérea em  $\text{kg ha}^{-1}$ ;

LA e LC, significa linha adjacente e central com aplicação de  $^{15}\text{N}$ -fertilizante, respectivamente.

O acúmulo de N foi calculado com base no teor de N da parte aérea e com a produção de matéria seca, sendo expresso em  $\text{kg ha}^{-1}$ . Desse modo, foram realizadas amostragens aos 30, 90 e 360 dias após a aplicação dos tratamentos. Em cada amostragem foram coletadas as plantas de 1 m da área útil de cada parcela. As amostras coletadas foram acondicionadas em sacos de papel, secas em estufa de aeração forçada a  $60^\circ\text{C}$  até massa constante, pesadas para a obtenção da massa de matéria seca, posteriormente, as amostras foram moídas em moinho elétricos tipo

“Willey”, peneiradas (malha de 1 mm) e armazenadas em local protegido de umidade e luz até realização da análise.

O teor de N foi determinado na matéria seca da parte aérea, nos diferentes compartimentos da planta (colmo, folha e ponteiro). Depois das amostras trituradas pesou-se 0,1 g de cada amostra para serem digeridas em solução sulfúrica e analisadas pelo método de Kjeldahl (EMBRAPA, 2009).

A quantidade de N acumulados foi calculada pelo produto da matéria seca total versus o teor do nutriente contido em cada componente da planta.

A recuperação do N (R) pela parte aérea foi calculado por meio da equação:

$$R (\%) = (NDFf/Naf) 100 \quad (9)$$

Em que:

NDFf, é o nitrogênio na parte aérea proveniente do fertilizante;

Naf, é a quantidade de N das fontes aplicada ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

### 3.2.5 Nitrogênio no solo

Foram coletadas amostras de solo aos 30, 90 e 180 dias após a aplicação dos tratamentos, nas profundidades de 0,0-0,10, 0,10-0,40 e 0,40-0,70 m, com auxílio de trados do tipo sonda. Foram coletadas subamostras aleatórias na linha de cada parcela para formar uma amostra composta.

O solo amostrado foi homogeneizado, destorroado, passado em peneira com malha de mm e moída em almofariz de ágata para de determinar o N-total, sendo determinado pelo método micro kjeldahl (TEDESCO et al., 1995).

### 3.2.6 Análise estatística

Os resultados foram analisados quanto a distribuição normal dos dados. Para os dados de Concentração de íons de N na solução do solo, N acumulado, N Recuperado, Abundância de átomos de  $^{15}\text{N}$  nas folhas +3 e N mineral, N no solo, foram submetidas a análise de variância e o teste F foi realizado ( $P < 0,05$ ). O teste de Tukey ( $P < 0,05$ ) foi aplicado nas variáveis em que os principais efeitos e/ou interação foram significativos, para cada tempo separadamente. Para as análises estatísticas utilizou-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.3.1 Concentração de íons de nitrogênio na solução do solo

A solução do solo apresentou concentrações de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), que variaram com manejo (Tabela 3). A concentração de  $\text{N-NO}_3^-$  e  $\text{N-NH}_4^+$  aos 0,7 m de profundidade foi maior sem o parcelamento no primeiro período avaliado, posteriormente, a adição de N com a adubação parcelada e complementar aumentou a concentração desses íons nessa profundidade até o final do período das chuvas (Tabela 3). O parcelamento reduziu a concentração de  $\text{N-NO}_3^-$  e  $\text{N-NH}_4^+$  nessa profundidade nos primeiros trinta dias após aplicação do fertilizante nitrogenado, porém, aumentou a concentração após a aplicação da segunda adubação, mesmo com a planta mais desenvolvida.

Para todo o período chuvoso, o manejo com a dose maior inicial associada à dose complementar, manteve a concentração das principais formas de N absorvidas pela planta sempre superior aos demais manejos (Tabela 3). Para o  $\text{NO}_3^-$ , por exemplo, os incrementos com a adubação complementar com NA e SA foram na ordem de 76,0 e 88,4%; 71,7 e 82,8%; 97,6 e 98,1%; 84 e 95,6% em relação as concentrações naturais do solo (controle) respectivamente. O aumento da concentração de  $\text{NO}_3^-$  em profundidade com as doses mais elevadas, também foi observado por Souza et al., (2018), em Latossolo cultivado com café, que constataram que as concentrações mais elevadas desse íon na solução resultaram em maiores intensidades de fluxo de  $\text{NO}_3^-$  e aumentou as perdas por lixiviação.

Em todo período avaliado, as maiores concentrações de  $\text{NH}_4^+$  na solução do solo foram observado no manejo com a maior dose inicial associada com a dose complementar (Tabela 3), similar ao comportamento observado para o  $\text{NO}_3^-$ , com valores entre 0,32 e 2,86  $\text{mg L}^{-1}$ ; 0,53 e 2,74  $\text{mg L}^{-1}$ , nas fontes NA e SA, respectivamente. Nesse período a concentração de  $\text{N-NH}_4^+$  na solução do solo submetida ao manejo com parcelamento da dose (40+40  $\text{kg ha}^{-1}$  de N) foi menor que a obtida no manejo com a maior dose associada com a complementação, porém foi maior que as concentrações encontradas no manejo com a maior dose sem parcelamento e complementação. Refletindo a influência do manejo da adubação nitrogenada associada com o processo de mineralização da matéria orgânica sobre as concentrações de íons na solução do solo.

Os valores das concentrações de  $\text{NO}_2^-$  apresentaram bastante variação ao longo do período de monitoramento, com valores entre 0,10  $\text{mg L}^{-1}$  a 0,76  $\text{mg L}^{-1}$ . Nos períodos de 02/05 – 01/06

**Tabela 3.** Concentração de nitrogênio mineral ( $\text{NO}_3^-$ ;  $\text{NO}_2^-$ ;  $\text{NH}_4^+$ ) da solução do solo aos 0,7 m de profundidade, durante o período de abril a julho de 2017. Rio Tinto, Paraíba, Brasil

Manejo (kg ha <sup>-1</sup> )	Nitrato – $\text{NO}_3^-$ (mg L <sup>-1</sup> )							
	06/04 – 01/05		02/05 – 01/06		02/06 – 01/07		02/07 – 13/07	
	NA	SA	NA	SA	NA	SA	NA	SA
0	0,71 dA	0,71 dA	0,60 dA	0,60 dA	0,18 dA	0,18 dA	0,15 dA	0,15 dA
80	2,68 bB	4,16 bA	1,13 cA	1,11 cA	0,38 cA	0,25 cA	0,25 cB	0,98 cA
40+40	2,29 cA	2,19 cA	1,58 bB	2,85 bA	2,04 bA	2,67 bA	0,75 bB	1,12 bA
80+40	2,96 aB	6,12 aA	2,12 aB	3,49 aA	7,47 aB	9,51 aA	0,94 aB	2,77 aA
F <sub>Manejo</sub>	80258,000**		1166,319**		456088,500**		13461,351**	
F <sub>fonte</sub>	40368,000**		506,042**		12096,750**		13921,459**	
F <sub>Manejo x Fonte</sub>	16984,000**		167,891**		7406,250**		4048,595**	
C.V (%)	1,02		4,93		1,01		1,98	
Manejo (kg ha <sup>-1</sup> )	Nitrito – $\text{NO}_2^-$ (mg L <sup>-1</sup> )							
	NA	SA	NA	SA	NA	SA	NA	SA
	0	0,15 bA	0,15 bA	0,17 aA	0,17 aA	0,15 cA	0,15 bA	0,30 aA
80	0,13 bA	0,11 bA	0,12 bA	0,12 bA	0,21 bA	0,13 bB	0,10 cA	0,12 cA
40+40	0,19 aA	0,12 bB	0,19 aA	0,14 bB	0,14 cB	0,21 aA	0,20 bA	0,20 bB
80+40	0,11 bB	0,25 aA	0,11 bA	0,13 bA	0,76 aA	0,25 aB	0,20 bA	0,20 bA
F <sub>Manejo</sub>	10,973**		22,687**		663,238**		6,133**	
F <sub>fonte</sub>	7,946**		1,687 <sup>NS</sup>		386,286**		2,392*	
F <sub>Manejo x Fonte</sub>	50,324**		6,687**		388,190**		3,789*	
C.V (%)	11,42		11,36		7,48		12,48	
Manejo (kg ha <sup>-1</sup> )	Amônio – $\text{NH}_4^+$ (mg L <sup>-1</sup> )							
	NA	SA	NA	SA	NA	SA	NA	SA
	0	0,44 dA	0,44 dA	0,18 dA	0,18 dA	0,07 dA	0,07 dA	0,58 aA
80	2,21 bA	1,48 bcB	0,39 cA	0,42 cA	0,16 cA	0,18 cA	0,08 cB	0,87 bA
40+40	0,78 cA	0,70 cB	0,77b A	0,82 bA	0,25 bA	0,28 bA	0,09 cB	0,99 aA
80+40	2,86 aA	2,74 aB	0,96 a B	1,04 aA	0,32 aB	0,53 aA	0,64 aB	1,03 aA
F <sub>Manejo</sub>	34464,688**		4182,187**		566,718**		234,955**	
F <sub>fonte</sub>	1354,688**		31,688**		104,00**		6296,955**	
F <sub>Manejo x Fonte</sub>	916,688**		11,688**		58,462**		774,121**	
C.V (%)	1,11		2,76		7,80		3,50	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey; <sup>NS, \*\*</sup> não significativo, significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente. DAAT: Dias após aplicação dos tratamentos. Primeira adubação – 60 DAC (08/03/2017); Segunda adubação – 120 DAC (08/05/2017). DAC: Dias após o corte.

e 02/07 – 13/07 o controle apresentou as maiores concentrações na fonte SA, havendo um incremento de 43,3% na contração de  $\text{NO}_2^-$ . O nitrito por ser um composto intermediário do processo de nitrificação, sua concentração na solução do solo tende a ser baixa, e variável de acordo com a intensidade do mesmo.

Os valores de nitrato variaram de  $0,15 \text{ mg L}^{-1}$  no controle a  $9,51 \text{ mg L}^{-1}$  no manejo com a dose maior inicial associada à dose complementar. Essas faixas de valores ficaram abaixo da encontrada por Andrade Neto (2012), no qual estudando a validação de modelos de estimativa de nitrato monitorou, durante 400 dias, níveis de  $\text{NO}_3^-$  na solução do solo entre 50 e  $200,0 \text{ mg L}^{-1}$  e ficaram fora das faixas obtidas por Cometti et al. (2008), que obtiveram teores de nitrato na solução do solo entre 21,8 a  $174 \text{ mg L}^{-1}$ . Embora as concentrações dos íons de N tenham sido baixas nesse estudo, isso não significa que esteja ocorrendo baixa perdas desse nutriente no sistema e maior aproveitamento deste pela cultura, como será discutido melhor posteriormente; uma vez que, as características física desse solo associada as altas precipitações ocorrida durante o período de monitoramento, nos leva a levantar a hipótese de que, a perda desse nutriente no solo, ocorreu de forma rápida para profundidades superiores a adotada no estudo não sendo possível quantificar na profundidade avaliada. Corroborando com essa informação temos os dados da CCRAS e dos parâmetros da curva (Figura 3, Tabela 3), no qual podemos observar que a água disponível nas profundidades de 0,40 e 0,70 m representa 38,2 e  $34,0 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , correspondendo a 20,5 e 22,5% do total de água disponível no solo; sendo 148,0 e  $116,9 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  de água gravitacional, correspondendo a 79,5 e 77,5%, respectivamente para as fontes NA e SA. Ressaltando que, a maior parte da água esta sendo perdida ao longo do perfil do solo. A qual conseqüentemente, estará levando consigo formas de N mais passíveis de serem lixiviadas.

Mesmo as concentrações de N na solução do solo sendo baixa, em relação aos valores encontrados na literatura, este contribuiu para a lixiviação e redução da disponibilidade para a planta.

A concentração de íons teve grande alteração no tempo em que se fez o monitoramento. Vale ressaltar, como a concentração de alguns íons aumentou em um período específico, mesmo no controle, no qual não se aplicou fertilizante, fato que indica que os íons que estão geoquimicamente disponíveis na superfície do solo são transportados a camadas mais profundas. A variação temporal da concentração dos íons avaliados mostrou que houve aumento na concentração, principalmente de  $\text{NO}_3^-$  coincidindo com o período de maior precipitação (Abril e Junho) (Tabela 3), indicando que, não somente a precipitação influencia na lixiviação do nitrato para camadas mais profundas, como também as características física do

solo, como nesse caso, a textura do solo (arenosa) facilitou a movimentação desse íon no perfil do solo, se concentrando em camadas mais profundas. A menor capacidade de armazenamento de água deste solo, em relação ao argiloso, deve ter contribuído para exaurir o N adicionado.

Os resultados reforçam a observação feita por ERNANI (1999) e BORTOLINI (2000) de que em solos arenosos, que apresentam maior facilidade de lixiviação de nitrato, devem receber fertilização nitrogenada em maior quantidade e número de aplicações, do que solos argilosos. Correa et al. (2006) e Phillips e Burton (2005) mostraram que, em elevadas dotações de água, a taxa de lixiviação dos íons é maior em solos arenosos. Por serem em geral pobres de matéria orgânica, esses solos, assim como os substratos de uso agrícola possuem baixa capacidade para reter o nitrato, que, livre em solução, ficará sujeito à lixiviação para as camadas mais profundas.

Na região dos campos gerais do Estado do Paraná, Piovesan et al. (2009) observaram que as quantidades perdidas de P, K e  $\text{N-NH}_4^+$ , em relação ao aplicado, são menores comparativamente ao  $\text{N-NO}_3^-$ , confirmando o potencial de lixiviação do  $\text{N-NO}_3^-$ , mesmo em solo argiloso com predomínio de caulinita e gibbsita na fração argila.

As maiores concentrações de N na fonte SA, é um indicativo de que a fonte NA por promover maior disponibilidade de íons N em relação ao SA, associado a baixa presença de cargas positivas no solo, este pode ter sido perdido mais facilmente para camadas mais profundas do solo, não sendo possível sua quantificação nessa profundidade. Corroborando com essa hipótese Fley et al. (2010), avaliando a lixiviação de nitrogênio em coluna em função da granulometria do solo, utilizando duas fontes de N, nitrato de potássio e sulfato de amônio; observaram que o nitrato de potássio resultou em maiores perdas de N por lixiviação em comparação ao sulfato de amônio. Visto que o  $\text{KNO}_3$  é rapidamente dissociado em água, liberando  $\text{K}^+$  e  $\text{NO}_3^-$ , e os íons nitrato em solos com carga negativa tendem a lixiviação.

### **3.3.2 Concentração de N-total e Abundância de $^{15}\text{N}$ -fertilizante na solução do solo**

A concentração média de N mineral foi de  $0,92 \text{ mg L}^{-1}$  no controle,  $2,0 \text{ mg L}^{-1}$  e  $2,5 \text{ mg L}^{-1}$  no manejo com a maior dose,  $2,3 \text{ mg L}^{-1}$  e  $3,1 \text{ mg L}^{-1}$  no manejo com parcelamento e  $4,9 \text{ mg L}^{-1}$  e  $7,0 \text{ mg L}^{-1}$  no manejo com a maior dose inicial associada com a dose complementar, respectivamente para NA e SA (Tabela 4). Deste modo, a adubação nitrogenada aumentou a concentração de N na solução do solo aos 0,7 m de profundidade. E os manejos com o parcelamento e complementação além de aumentar, também mantiveram maiores as

concentrações de N na solução nessa profundidade, após a adição da segunda adubação (Tabela 4).

Este comportamento evidenciaria perdas do N-fertilizante maiores e contínuas até o final do período chuvoso, no entanto a presença de átomos de  $^{15}\text{N}$  na solução do solo apenas foi identificada, nesta profundidade, até o segundo período de avaliação que perdurou até início do mês junho (Tabela 4). Este resultado demonstra que 90 dias após a primeira adubação e 30 dias após a segunda adubação não havia resíduos do  $^{15}\text{N}$ -fertilizante na solução do solo aos 0,7 m, sendo todo lixiviado independente do manejo adotado.

A maior abundância foi observada nos períodos de monitoramento de 06/04 -01/05 e 02/05 – 01/06, neste primeiro período os manejos com maior dose apresentaram maior abundância de  $^{15}\text{N}$  (1,73 e 1,67) para ambas as fontes utilizadas. Enquanto que, neste último tanto o manejo com a maior dose inicial associada com a dose complementar (0,52 e 0,83 %At de  $^{15}\text{N}$ ) quanto o manejo com parcelamento (0,52 e 0,84 %At de  $^{15}\text{N}$ ) apresentaram maior abundância de  $^{15}\text{N}$  nas duas fontes (Tabela 4).

Com adubação nitrogenada as concentrações de N variaram com as fontes utilizadas, tendo o SA apresentado as maiores concentrações que o NA. Mesmo havendo diferença entre as fontes, os valores médios da presente pesquisa foi de  $2,5 \text{ mg L}^{-1}$  para NA e  $3,37 \text{ mg L}^{-1}$  para SA, esses valores foram inferiores aos observados por Oliveira et al. (2001), os quais observaram alteração da qualidade da água detectada com um aumento na concentração média da solução do solo de  $0,74$  a  $14,58 \text{ mg L}^{-1}$  quando  $0$  e  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de N foi aplicado na cana-de-açúcar a  $0,9$  m de profundidade.

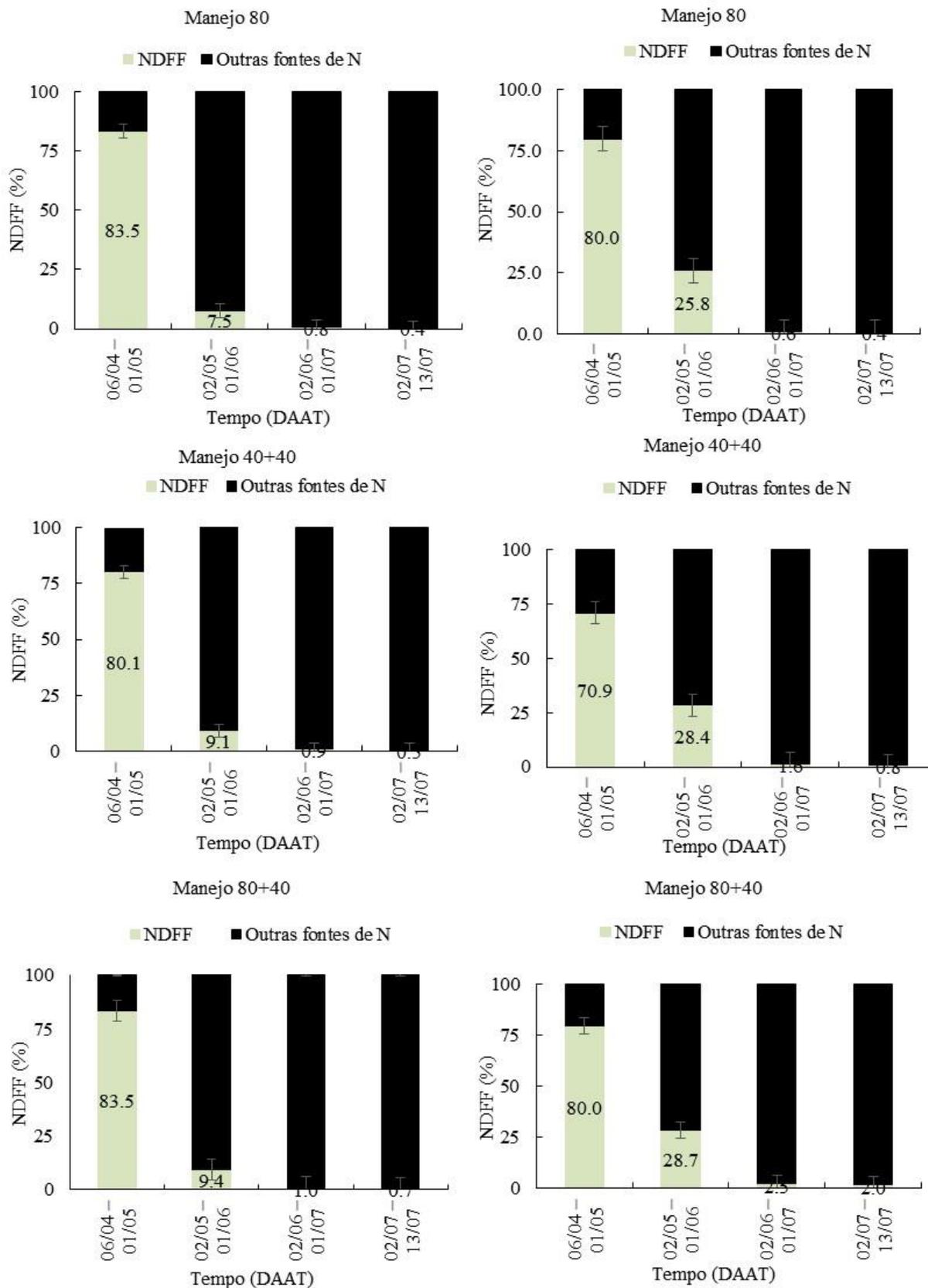
As perdas de  $^{15}\text{N}$ -fertilizante podem ser consideradas rápida principalmente no primeiro mês após aplicação dos fertilizantes uma vez que foram observados na solução valores de 1,67 a 1,76 %At do  $^{15}\text{N}$ -fertilizante enriquecido a 2,0 % At  $^{15}\text{N}$  (Tabela 4). Valores médios de 0,99 %At de  $^{15}\text{N}$  na profundidade de  $0,9$  m em solo argiloso foram observados por Guiberto (2009) no estado de São Paulo, quando se aplicou uréia enriquecida com 2,15 %At. Esta diferença demonstra que a maior parte (média de 1,7%At de  $^{15}\text{N}$ ) do  $^{15}\text{N}$ -fertilizante aplicado se perdeu no primeiro mês de avaliação.

O aumento da concentração de N na solução do solo ao longo do tempo, não é resultado somente da aplicação do parcelamento ou dose complementar de N, mais principalmente resultante do processo de mineralização do N da matéria orgânica proveniente da palhada depositada sobre o solo.

**Tabela 4.** Concentração de nitrogênio mineral total e abundância de átomos de  $^{15}\text{N}$ -fertilizante na solução do solo aos 0,7 m de profundidade, durante o período de abril a julho de 2017. Rio Tinto, Paraíba, Brasil

Manejo (kg ha <sup>-1</sup> )	N Mineral (mg L <sup>-1</sup> )							
	06/04 – 01/05		02/05 – 01/06		02/06 – 01/07		02/07 – 13/07	
0	1,30 dA	1,30 dA	0,95dA	0,95 dA	0,40 dA	0,40 cA	1,03 bA	1,03 dA
80	5,02 bA	5,75 bA	1,64 cA	1,65 cA	0,75 cA	0,56 cA	0,43 cB	1,97 cA
40+40	3,26 cB	3,01 cA	2,54 bB	3,81 bA	2,43 bB	3,16 bA	1,04 bB	2,31 bA
80+40	5,93 aA	9,11 aA	3,19 aB	4,66 aA	8,55 aB	10,29 aA	1,78 aB	4,00 aA
F <sub>Manejo</sub>	218184,000**		56043,250**		531675,500**		235,307**	
F <sub>Fonte</sub>	27936,750**		14076,750**		9576,750**		615,360**	
F <sub>Manejo x Fonte</sub>	17124,750**		4742,250**		5819,2550**		94,082**	
C.V (%)	1,00		1,00		1,02		8,67	
	$^{15}\text{N}$ % átomos							
0	0,40 cA	0,40cA	0,38 cA	0,38 cA	0,37 A	0,37 A	0,37 A	0,37 A
80	1,73 aA	1,67 aB	0,49 bB	0,78 bA	0,38 A	0,38 A	0,37 A	0,37 A
40+40	1,67 bB	1,52 bA	0,52 aB	0,83 aA	0,38 A	0,39 A	0,38 A	0,38 A
80+40	1,73 aA	1,67 aA	0,52 aA	0,84 aB	0,38 B	0,41 A	0,38 B	0,40 A
F <sub>Manejo</sub>	188,698**		25530,18**		9,935 <sup>NS</sup>		1,687 <sup>NS</sup>	
F <sub>Fonte</sub>	188450,562**		256465,688**		5,261*		119,187*	
F <sub>Manejo x Fonte</sub>	2744,368**		53373,188**		5,465 <sup>NS</sup>		110,187 <sup>NS</sup>	
C.V (%)	0,10		0,18		2,14		0,43	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey; <sup>NS,\*\*,\*</sup> não significativo, significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente. DAAT: Dias após aplicação dos tratamentos. Primeira adubação – 60 DAC (08/03/2017); Segunda adubação – 120 DAC (08/05/2017). DAC: Dias após o corte.



**Figura 3.** Percentual do  $^{15}\text{N}$  na solução do solo proveniente do fertilizante (NDF) e de outras fontes de N, em relação aos fertilizantes nitrogenados e manejo da adubação nitrogenada

A participação do  $^{15}\text{N}$ -fertilizante na solução do solo (NSSPF) foi superior a 80 % nos primeiros trinta dias após aplicação dos fertilizantes com as duas fontes e manejos testados (Figura 3). No segundo período de avaliação o NSSPF variou entre 7,5 e 9,4 % entre os manejos com o NA e de 25,8 a 28,7% para SA. A partir do terceiro período (aproximadamente 90 dias após aplicação dos tratamentos) houve redução do NSSPF de 83; 79,6 e 83,1% para a fonte NA e 79,6; 84,8 e 78% na fonte SA para dose única, parcelamento e complementação, respectivamente.

Nos dois primeiros períodos avaliados a participação do  $^{15}\text{N}$ -fertilizante na solução do solo aos 0,7 m profundidade foi superior a 90 % para ambas fontes de N e nos diferentes manejos, demonstrando perdas significativas por lixiviação. Assim, não foi observada redução da lixiviação com o parcelamento e a aplicação em dose única ou complementar (Figura 3).

Guiberto (2009), no trabalho avaliando as perdas de nitrogênio e enxofre por lixiviação, em um Argissolo no estado de São Paulo, no qual se aplicou uréia enriquecida com 2,15 % At, em cana soca, obtiveram valores médios de % At de  $^{15}\text{N}$  de 0,99 % At, que resultou numa % NSSPF de 34,9%. Enquanto que Guiberto et al. (2009a), trabalhando com cana planta, no estado de São Paulo, quando se aplicou uréia enriquecida com 5,04 % At, encontrou % NSSPF de 1,34. Em ambos os trabalhos foram observados valores de NSSPF inferiores ao obtido nesse trabalho.

Os menores valores de NSSPF (%) obtidos na fonte NA para o segundo período (02/05 – 01/06) comparado com o SA, é decorrente da maior parte do N aplicado ter sido perdido para camadas mais profundas não sendo possível sua quantificação nessa profundidade, visto que, o NA apresenta mais facilidade para ser perdido, devido a maior facilidade em disponibilizar nitrato que o SA, como já discutido anteriormente.

Com os resultados encontrados, observa-se que há rápidas perdas de N no sistema, isso pode estar relacionado não somente a fonte de N adotada, mais também a fatores como, maior precipitação durante os períodos avaliados, associado a textura do solo, os quais promovem uma maior movimentação da água no perfil do solo, levando consigo íons presentes na solução do solo.

### 3.3.3 Lixiviação de nitrogênio

A partir do fluxo diário de água e as concentrações das diferentes espécies iônicas do N estimou-se a quantidade ( $\text{mg ha}^{-1}$ ) lixiviada de  $\text{N-NO}_3^-$ ,  $\text{N-NH}_4^+$ ,  $\text{N-NO}_2^-$  (Tabela 5 e 6). O  $\text{N-NO}_3^-$ , apresentou a maior lixiviação entre as formas de forma de N e a adubação em dose única

contribuiu com as menores perdas (Figura 4; Tabela 6). Entre os manejos, o parcelamento aumentou a lixiviação de N em 232 e 143 % com uso do NA e SA respectivamente. Com a adubação complementar as perdas por lixiviação foram ainda maiores com incremento de 574 e 462 %, respectivamente.

**Tabela 5.** Lixiviação de nitrogênio na solução do solo aos 0,7 m de profundidade, durante o período de abril a julho de 2017. Rio Tinto, Paraíba, Brasil.

Período Data	Lixiviação de N (mg ha <sup>-1</sup> )		
	N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
06/04 – 01/05	3,89 (0,007)	18,41 (0,010)	11,41 (0,008)
02/05 – 01/06	5,67 (0,009)	20,01 (0,002)	6,00 (0,004)
02/06 – 01/07	3,30 (0,005)	4,00 (0,008)	1,60 (0,006)
02/07 – 13/07	5,36 (0,012)	2,68 (0,004)	10,35 (0,016)
Total	18,22 (1,141)	45,10 (9,201)	29,36 (4,485)

O valor que aparece para cada período é a média das repetições e respectivo desvio-padrão e o que aparece para o total do ciclo é o somatório de cada período e respectivo desvio-padrão propagado. Tratamento 1: Controle 0 kg ha<sup>-1</sup> de N no ciclo de cana soca.

O N se movimentou principalmente como NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, devido a maior concentração na solução e menor interação com os coloides negativos do solo, correspondendo a proporção de 64% a 78% do total de N lixiviado (Tabela 6 e Figura 4). Em contrapartida, a pouca quantidade de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> transportado nos manejos, pode ser explicado pela forte afinidade por minerais de argila e matéria orgânica carregados negativamente, sendo menos móvel que o NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, correspondendo a proporção de 19% a 29% do total de N lixiviado.

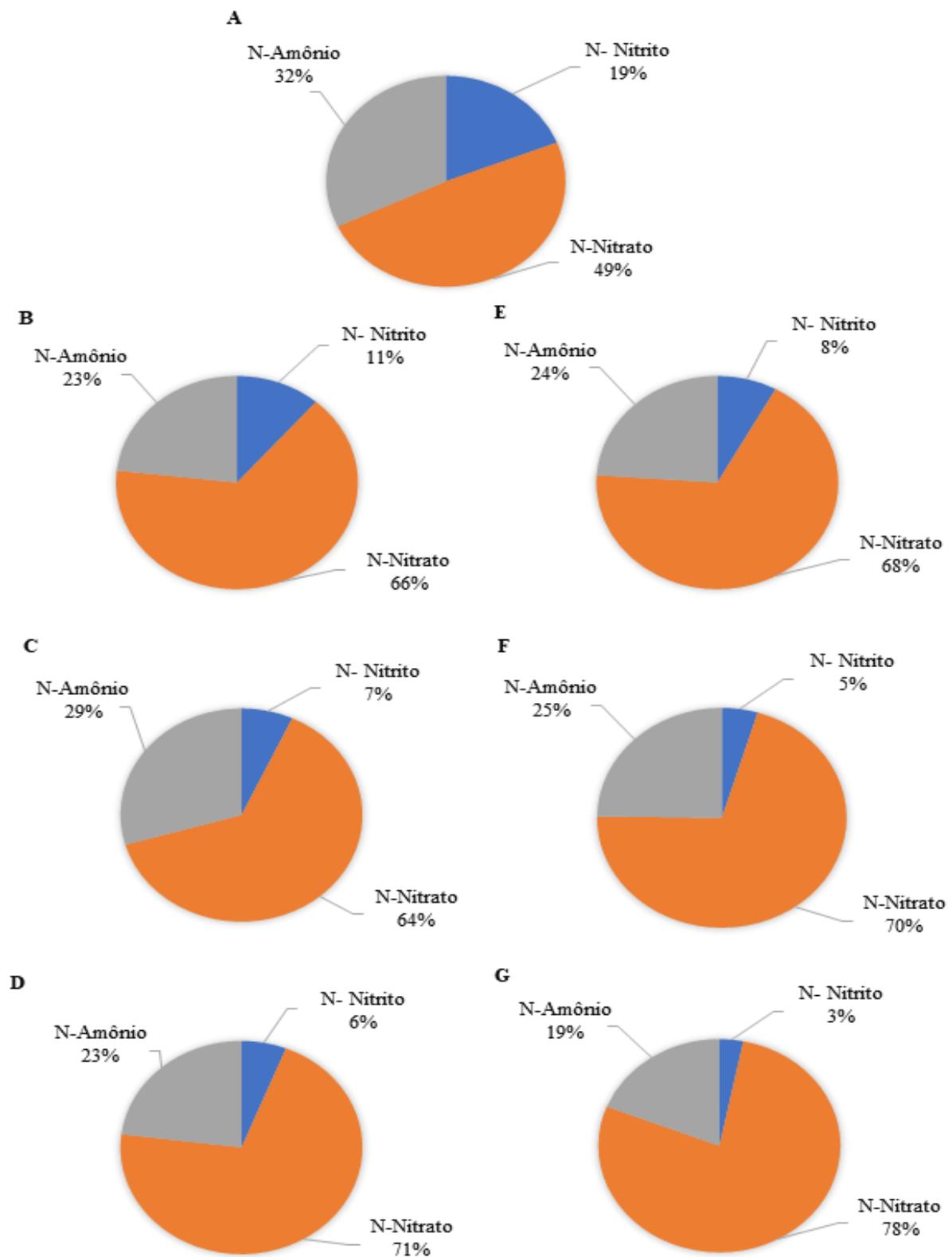
A lixiviação do nitrito foi a menor entre as formas de N, por este ser um produto intermediário da nitrificação é oxidado rapidamente a NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, correspondendo a proporção de 3% a 11% do total de N lixiviado (GROFFMAN, 2000; HALVIN et al., 2005). Salcedo e Sampaio (1984) e Renk e Lehmann (2004) explicaram a baixa quantidade de amônio lixiviado em profundidade pela rápida velocidade de nitrificação em solos tropicais e pela elevada mobilidade do ânion nitrato.

Sem adição do fertilizante nitrogenado a quantidade lixiviada foi baixa, e aconteceu principalmente na forma de amônio e nitrato (tabela 5). A pequena quantidade de íons de N encontrada no controle foi proveniente, provavelmente, de outras fontes de N que permaneciam no solo. Como observado por Guiberto et al. (2009a), em trabalho avaliando as perdas de nitrogênio e enxofre por lixiviação, em um Argissolo no estado de São Paulo, no qual se aplicou uréia enriquecida com 2,15 % At, o qual constatou que sem a adubação nitrogenada a forma amônio foi a que prevaleceu na lixiviação de N, embora esta tenha sido baixa.

**Tabela 6.** Lixiviação de nitrogênio da solução do solo em diferentes períodos, nos manejos de 80, 40+40 e 80+40 kg ha<sup>-1</sup> de N na profundidade de 0,70 m

Período	P (mm)	Lixiviação de N (mg ha <sup>-1</sup> )							
		N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>		N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		<sup>15</sup> N-Fert.	
Data		NA	SA	NA	SA	NA	AS	NA	SA
Manejo 80 kg ha <sup>-1</sup> de N									
06/04 – 01/05	306	4,19 (0,004)	8,20 (0,007)	73,70 (0,010)	124,00 (0,006)	25,12 (0,003)	23,57 (0,008)	0,359 (0,003)	1,576 (0,007)
02/05 – 01/06	251	7,09 (0,008)	12,52 (0,003)	66,73 (0,08)	114,78 (0,010)	23,03 (0,010)	29,22 (0,002)	0,056 (0,002)	0,139 (0,008)
02/06 – 01/07	322	16,20 (0,010)	9,00 (0,002)	29,20 (0,006)	17,30 (0,008)	12,30 (0,009)	11,10 (0,006)	0,025 (0,016)	0,018 (0,002)
02/07 – 13/07	313	3,45 (0,012)	5,95 (0,006)	8,65 (0,004)	48,62 (0,010)	2,75 (0,039)	43,16 (0,016)	0,008 (0,009)	0,006 (0,005)
Total		30,93 (5,859)	35,67 (2,727)	178,28 (30,909)	304,70 (51,650)	63,20(10,355)	107,05 (13,297)	0,448 (0,166)	1,739 (0,763)
Manejo 40+40 kg ha <sup>-1</sup> de N									
06/04 – 01/05	306	12,96 (0,010)	7,37 (0,007)	182,78 (0,016)	255,57 (0,004)	150,73 (0,02)	90,92 (0,010)	0,913 (0,004)	1,638 (0,010)
02/05 – 01/06	251	24,30 (0,003)	11,59 (0,004)	202,05 (0,008)	175,09 (0,009)	98,47 (0,010)	50,38 (0,009)	0,220 (0,003)	0,894 (0,008)
02/06 – 01/07	322	11,60 (0,006)	15,60 (0,006)	169,00 (0,008)	198,80 (0,012)	20,80 (0,011)	20,90 (0,008)	0,046 (0,005)	0,092 (0,003)
02/07 – 13/07	313	15,36 (0,004)	14,24 (0,010)	38,36 (0,005)	110,96 (0,008)	4,60 (0,016)	98,08 (0,016)	0,013(0,007)	0,030 (0,009)
Total		64,22 (5,712)	48,80 (3,625)	592,19 (74,371)	740,42 (52,863)	274,60 (68,358)	260,28 (36,169)	1,195 (0,420)	2,654 (760)
Manejo 80+40 kg ha <sup>-1</sup> de N									
06/04 – 01/05	306	8,47 (0,002)	19,36 (0,008)	228,03 (0,004)	473,88 (0,007)	220,32 (0,006)	212,16 (0,008)	1,319 (0,004)	3,202 (0,005)
02/05 – 01/06	251	12,99 (0,003)	11,59 (0,004)	250,42 (0,005)	311,06 (0,02)	113,42 (0,008)	92,69 (0,009)	0,804 (0,003)	2,949 (0,008)
02/06 – 01/07	322	67,70 (0,008)	19,20 (0,006)	665,00 (0,008)	731,60 (0,003)	28,50 (0,005)	40,80 (0,010)	0,059 (0,008)	0,228(0,002)
02/07 – 13/07	313	12,33 (0,012)	19,82 (0,002)	57,93 (0,009)	197,66 (0,010)	27,12 (0,016)	73,50 (0,016)	0,022 (0,007)	0,093 (0,005)
Total		101,49 (28,289)	69,97 (3,944)	1201,38 (257,850)	1714,20 (231,667)	389,36 (91,383)	419,15 (74,718)	2,204 (0,626)	6,472 (1,687)

O valor que aparece para cada período é a média das repetições e respectivo desvio-padrão e o que aparece para o total do ciclo é o somatório de cada período e respectivo desvio-padrão propagado.



**Figura 4.** Proporção percentual do nitrogênio lixiviado nas diferentes espécies iônicas: (A) Controle, (B) Manejo 80 kg ha<sup>-1</sup> de N na fonte NA; (C) Manejo 40+40 kg ha<sup>-1</sup> de N na fonte NA, (D) Manejo 80+40 kg ha<sup>-1</sup> de N na fonte NA, (E) Manejo 80 kg ha<sup>-1</sup> de N na fonte SA, (F) Manejo 40+40 kg ha<sup>-1</sup> de N na fonte SA (G) Manejo 80+40 kg ha<sup>-1</sup> de N na fonte SA

A lixiviação do  $^{15}\text{N}$ -Fert. ocorreu principalmente nos primeiros períodos de monitoramento reduzindo ao longo do tempo, isso é devido ao pouco desenvolvimento do sistema radicular da cultura associado a maior precipitação pluvial. Trivelin et al. (2002) e Oliveira et al. (2002) mostraram que o total de N lixiviado foi  $4,5 \text{ kg ha}^{-1}$ , entretanto, nada advinha do fertilizante (uréia) marcado, dos quais 53% das perdas ocorreram nas primeiras três semanas, e que isso possivelmente era resultante do escasso desenvolvimento do sistema radicular.

Com relação a proporção do nitrogênio lixiviado nas diferentes espécies iônicas (Figura 4), observa-se que a maior proporção se destaca para o  $\text{N-NO}_3^-$  em relação as demais espécies para todos os tratamentos, tendo o manejo com parcelamento de N apresentado as maiores concentrações de  $\text{N-NO}_2^-$  para ambas as fontes.

Tanto a água quanto os solutos não foram deslocados uniformemente no perfil do solo, comportamento citado por (NIELSEN; BIGGAR; WIERENGA, 1982), evidenciado pela variabilidade nos diferentes períodos para fluxo de água e solutos. A origem desta variabilidade reside principalmente na estimativa do gradiente de potencial de água medido a 0,7 m de profundidade, e na estimativa do gradiente de potencial total.

A quantidade de N lixiviado foi elevada no manejo de adubação complementar em relação a não adição de fertilizantes nitrogenados. Esses resultados indicam que o aumento de doses de N em cobertura mesmo sendo parcela ou complementada proporciona maiores perdas de N provenientes do fertilizante, concordando com Sainz Rozas; Echeverria; Barbieri (2004). Outros trabalhos, utilizando tensiômetros e extratores de solução do solo entre 0,8 e 1,20 m de profundidade e doses superiores a  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, mostram perdas entre 15 e  $21 \text{ kg ha}^{-1}$  de N na cultura do milho em um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (FERNANDES; LIBARDI; CARVALHO, 2006), Camargo; Cabezas; Trivelin (1989) relata perdas de  $28,2 \text{ kg ha}^{-1}$  de N na terceira soca em cana-de-açúcar. Esses trabalhos foram desenvolvidos no Estado de São Paulo em clima com excedentes hídricos anuais, evidenciando que nesse local pode acontecer perdas importantes de N, se as condições climáticas favorecerem a drenagem se o nitrogênio estiver disponível.

Os valores de lixiviação de N observados nesse trabalho se encontram abaixo dos valores citados na literatura, ressaltando a hipótese de que, a profundidade avaliada foi insuficiente para poder quantificar o N lixiviado, necessitando a avaliação em profundidades maiores. Um dos fatores que reforçam a hipótese de que os baixos valores de N lixiviado neste trabalho, não é um indicativo de que nesta condição de sistema não se lixivia muito N e sim porque nesse solo não foi possível quantificar o N lixiviado na profundidade avaliada (0,7 m),

visto que, o mesmo já havia sido perdido para camadas mais profundas. Nesse solo a deposição de palhada sobre a superfície do solo iria promover uma manutenção dos teores de N, o que resultaria em uma maior lixiviação e não numa redução, como observado neste estudo.

Segundo alguns autores a lixiviação de N tem maior importância em solos arenosos e rasos do que solos que argilosos ou que apresentem ocorrência de cargas positivas em profundidade (GHIBERTO et al., 2011; PENATTI, 2013).

Vários trabalhos relatam o aumento da lixiviação de N, quando se tem a manutenção da palhada sobre a superfície solo do que quando é incorporada. Associado a este fato, a adição de N via complementação ou o parcelamento da dose, acelera a decomposição do N da palhada, resultando numa maior disponibilidade de N no sistema, associado a melhores condições resultante da deposição da palhada sobre a superfície do solo, como umidade e temperatura, favorecem a atividade microbiana, que leva a uma maior mineralização da matéria orgânica (FRIES, 1997; ERNANI et al., 2002; SANGOI et al., 2003; FERNANDES & LIBARDI, 2009) e transforma mais  $\text{NH}_4^+$  para  $\text{NO}_3^-$ , tornando o nitrogênio mais facilmente lixiviável. Corroborando com a hipótese discutida anteriormente, de que, boa parte do N havia sido lixiviado para camadas mais profundas não sendo possível quantificar na profundidade avaliada.

### 3.3.4. Recuperação de Nitrogênio na planta

A abundância de  $^{15}\text{N}$  nas folhas +3 variou entre os manejos e não diferenciou com as fontes de N (Tabela 7). Aos 30 DAAT os manejos com dose única e complementar haviam recebido a mesma dose de N ( $80 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e apresentaram as maiores %At de  $^{15}\text{N}$ -fertilizante. Com a adubação parcelada houve redução da participação do  $^{15}\text{N}$ -fertilizante na parte aérea da planta. Após ter recebido a segunda adubação nitrogenada, aos 90 DAAT, apenas a adubação complementar manteve maior %At de  $^{15}\text{N}$ -fertilizante na parte aérea da cana soca semelhante a inicial, o manejo com parcelamento e o manejo em dose única, não apresentaram diferença na abundância de  $^{15}\text{N}$ , apresentado as menores participações do  $^{15}\text{N}$  fertilizante na planta.

No final do ciclo de produção, aos 360 DAAT, continuou sem haver diferença no %At de  $^{15}\text{N}$ -fertilizante entre as fontes e também entre os manejos. Sendo verificado a penas significativa participação do  $^{15}\text{N}$ -fertilizante na parte aérea da planta com a adubação nitrogenada (Tabela 7).

A redução gradual de  $^{15}\text{N}$  nos tecidos das folhas +3 ao longo do período de coleta, indica que está havendo uma diluição nos tecidos das plantas, resultante da diminuição da contribuição

**Tabela 7.** Abundância de átomos de  $^{15}\text{N}$  nas folhas +3, e acúmulo de nitrogênio na parte aérea, em relação ao manejo da adubação nitrogenada adotada ao longo do ciclo da cana soca

Manejo (kg ha <sup>-1</sup> de N)	$^{15}\text{N}$ % átomos								
	30 DAAT			90 DAAT			360 DAAT		
	NA	SA	Média	NA	SA	Média	NA	SA	Média
0	0,39	0,39	0,39 c	0,38	0,38	0,38 c	0,37	0,37	0,37 c
80	0,98	1,02	1,00 a	0,70	0,78	0,74 b	0,64	0,71	0,68 a
40+40	0,88	0,89	0,89 b	0,82	0,83	0,83 b	0,64	0,74	0,69 a
80+40	0,99	1,01	1,00 a	0,88	0,93	0,91 a	0,72	0,75	0,74 a
F <sub>Manejo</sub>	173,818 <sup>**</sup>			49,632 <sup>**</sup>			36,517 <sup>**</sup>		
F <sub>Fonte</sub>	0,279 <sup>NS</sup>			1,205 <sup>NS</sup>			3,265 <sup>NS</sup>		
F <sub>Manejo x Fonte</sub>	0,186 <sup>NS</sup>			0,355 <sup>NS</sup>			0,550 <sup>NS</sup>		
C.V.(%)	7,63			13,12			12,52		
	N acumulado (kg ha <sup>-1</sup> )								
0	4,60	4,60	4,60 b	18,89 bA	18,89 bA	18,89	57,57	57,57	57,57 c
80	5,90	5,78	5,84 a	21,86 bA	20,97 bA	21,42	75,54	71,73	73,64 b
40+40	5,35	5,64	5,50 a	23,90 bA	27,81 aA	25,86	76,77	74,17	75,47 b
80+40	5,82	5,84	5,83 a	35,89 aA	29,52 aB	32,71	82,98	77,68	80,33 a
F <sub>Manejo</sub>	3,308 <sup>*</sup>			20,468 <sup>**</sup>			8,863 <sup>**</sup>		
F <sub>Fonte</sub>	0,014 <sup>NS</sup>			0,487 <sup>NS</sup>			0,780 <sup>NS</sup>		
F <sub>Manejo x Fonte</sub>	0,045 <sup>NS</sup>			3,095 <sup>*</sup>			0,114 <sup>NS</sup>		
C.V.(%)	18,91			13,50			13,06		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey; <sup>NS,\*\*,\*</sup> não significativo, significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente. DAAT: Dias após aplicação dos tratamentos. Primeira adubação – 60 DAC (08/03/2017); Segunda adubação – 120 DAC (08/05/2017). DAC: Dias após o corte.

do N-fertilizante e aumento de outras fontes para suprir a exigência da planta. Urquiaga et al (2012), relatam que a técnica que utiliza a relação isotópica  $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$  tanto no solo, quanto nos tecidos das plantas, mostram que o isótopo  $^{15}\text{N}$  dilui-se nos tecidos das plantas com a diminuição do N disponível no solo, e que há redução gradual de  $^{15}\text{N}$  nos tecidos das plantas na medida em que o solo é exaurido.

Durante o crescimento da cana-de-açúcar, a adubação nitrogenada aumentou o acúmulo de N na parte aérea, aos 30 DAAT, sem diferença entre os manejos e fontes, promovendo incrementos no acúmulo médio de N de 19,3%, em comparação ao controle. Aos 90 DAAT o acúmulo de N na parte aérea variou entre as fontes, sendo observado que a utilização do NA, na adubação complementar apresentou os maiores acúmulos de N (Tabela 7).

Com uso da fonte SA, o parcelamento e a adubação complementar proporcionaram os maiores acúmulos de N. Esse resultado reflete sobre disponibilidade de N pela aplicação de N tanto na forma complementar quanto parcelada, proporcionando a disponibilidade de N no solo, corroborando com os dados de concentração de N na solução do solo para este período (Tabela 4).

Aos 360 DAAT houve diferença somente entre os manejos para o acúmulo de N na parte aérea, sendo observado na adubação complementar as maiores quantidades acumuladas, com incremento de 28,33% em relação ao controle (Tabela 7). Ao final do ciclo de produção não houve diferença entre realizar a adubação parcelada e em dose única para o total de N acumulado na parte aérea.

Durante o crescimento da cana-de-açúcar, a adubação nitrogenada aumentou significativamente o acúmulo de N na parte aérea, ocorrendo os maiores acúmulos aos 360 DAAT com 92% no controle, 92%, no manejo com dose única, 95%, no manejo com parcelamento e 92,7% no manejo com maior dose e complementação, respectivamente (Tabela 7). Independente da fonte utilizada, todos os manejos apresentaram valores de N acumulado maiores que o controle, evidenciando a importância da adubação nitrogenada para suprir a demanda de N pelas plantas.

O aumento do acúmulo de N na parte aérea pode estar relacionado ao maior desenvolvimento do sistema radicular da cana-de-açúcar. Corroborando para esta hipótese, Franco et al. (2011), observaram aumento no acúmulo de N com o tempo e inferiram que, pode está associado ao desenvolvimento do sistema radicular da cana-de-açúcar, visto que, a fitomassa do sistema radicular da cana foi amplamente aumentada, no mesmo período em que houve aumento de N na biomassa aérea. Desse modo o desenvolvimento do sistema radicular

pode ter favorecido a absorção de N do perfil do solo, aumentando a quantidade de N acumulado na biomassa aérea.

As quantidades de N acumuladas na parte aérea da cana-de-açúcar foram inferiores as doses de N aplicadas (Tabela 7). Consequentemente, pode-se inferir que, uma significativa parcela do N aplicado pelas fontes de N foram perdidas por lixiviação no perfil do solo.

A recuperação do  $^{15}\text{N}$ -fertilizante foi menor com o parcelamento e não diferenciou entre os demais manejos aos 30 DAAT. A eficiência da primeira adubação foi menor entre os manejos do que a observada aos 90 DAAT, sendo observado que a complementação de N promoveu a maior recuperação do N-fertilizante. O parcelamento contribuiu para melhorar o aproveitamento do N-fertilizante, entretanto, mesmo que os manejos contribuíram para melhorar a eficiência da adubação, nesse período a recuperação do fertilizante foi baixa, sendo no máximo de 5 % aos 30 DAAT e 16 % aos 90 DAAT (Tabela 8).

A baixa contribuição nesse período pode ser explicada com a alta lixiviação do N observada nas fases iniciais de crescimento (Tabela 6), visto que, esse período de coleta coincidiu com uma das maiores precipitações que ocorreu na área (Figura 1).

O comportamento do N recuperado foi similar ao acúmulo de N na parte aérea, aumentou significativamente ao longo ciclo da cultura. A maior recuperação ocorrera aos 360 DAAT, com a adubação complementar. A adubação em dose única e parcelada, não apresentaram diferença no  $^{15}\text{N}$ -fertilizante recuperado pela cana soca. Nesta fase final do ciclo de produção a contribuição máxima do fertilizante no total de N acumulado na parte aérea da cana soca foi de 18 % (Tabela 7).

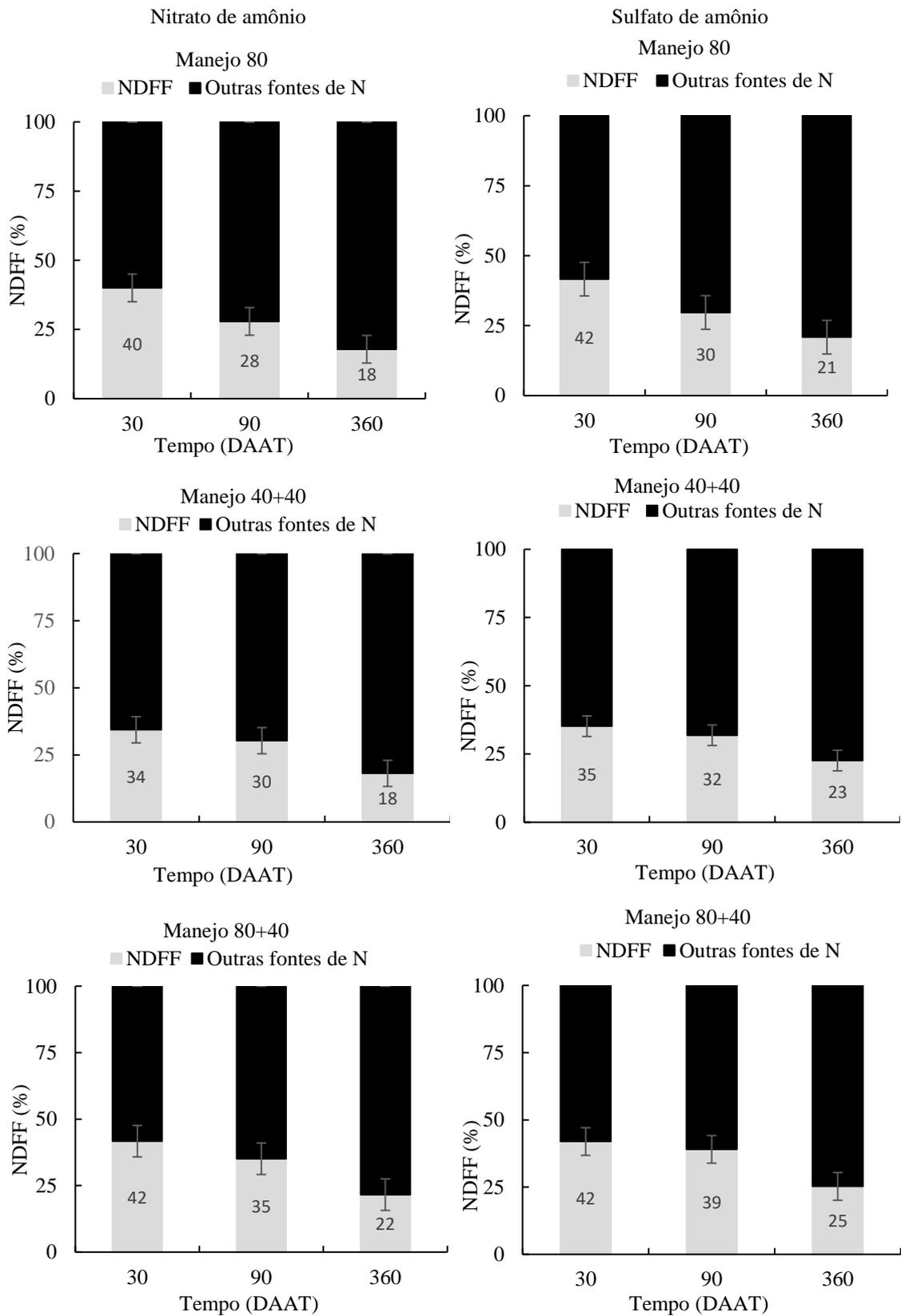
Mesmo com a baixa recuperação em todo o ciclo de cultivo, o N-fertilizante possui participação significativa nas fases iniciais de crescimento, contribuindo com 39 % da nutrição nitrogenada nas fases iniciais aos 30 DAAT, com 32 % aos 90 DAAT e com 21,2 % no final do ciclo de produção (Figura 5).

Para ambas as fontes, o maior NDFP (%) foi obtido nas primeiras amostragens (Figura 5). No início do ciclo (30 DAAT), o fertilizante contribuiu entre 34 a 42% do total de N para a planta. Este resultado mostra que, nos estágios iniciais de desenvolvimento, uma parte substancial do total de N nas plantas foi derivado do fertilizante, especialmente com as maiores doses. A redução do NDFP (%) no manejo com parcelamento no período inicial é resultante da menor contribuição deste manejo na concentração de N no solo, visto que, este foi o manejo que se aplicou N na fase inicial, em comparação com os demais manejos.

**Tabela 8.** Eficiência da recuperação do  $^{15}\text{N}$ - fertilizante, em relação ao manejo da adubação nitrogenada adotada ao longo do ciclo da cana soca

Manejo (kg ha <sup>-1</sup> de N)	N Recuperado (kg ha <sup>-1</sup> )								
	30 DAAT			90 DAAT			360 DAAT		
	NA	SA	Média	NA	SA	Média	NA	SA	Média
80	2,36 (3,0)	2,38 (3,0)	2,37 a	6,04 (7,6)	13,23 (16,5)	6,11 c	13,23 (16,5)	15,08 (18,8)	14,15 b
40+40	1,76 (4,5)	1,99 (5,0)	1,89 b	7,28 (9,1)	26,3 (11,0)	8,05 b	14,02 (17,5)	16,50 (20,6)	15,26 b
80+40	2,42 (3,3)	2,42 (3,0)	2,42 a	12,6 (10,5)	11,61 (9,7)	12,11 a	17,95 (15,0)	19,26 (16,1)	18,61 a
F <sub>Manejo</sub>	93,157 <sup>**</sup>			75,987 <sup>**</sup>			32,916 <sup>**</sup>		
F <sub>Fonte</sub>	0,203 <sup>NS</sup>			0,080 <sup>NS</sup>			0,968 <sup>NS</sup>		
F <sub>Manejo x Fonte</sub>	0,160 <sup>NS</sup>			0,807 <sup>NS</sup>			0,135 <sup>NS</sup>		
C.V(%)	19,99			24,91			23,77		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey; <sup>NS,\*\*,\*</sup> não significativo, significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente. DAAT: Dias após aplicação dos tratamentos. Primeira adubação – 60 DAC (08/03/2017); Segunda adubação – 120 DAC (08/05/2017). DAC: Dias após o corte. Os valores entre parênteses se referem ao percentual de N Recuperado oriundo de cada dose. Valores entre parênteses se referem ao percentual do  $^{15}\text{N}$  recuperado em função da dose.



**Figura 5.** N derivado do fertilizante (NDF) ou de outras fontes (outras fontes de N) na nutrição da cana-de-açúcar durante o ciclo da cultura da cana soca em relação a fontes de N e ao manejo da adubação nitrogenada

No final do ciclo agrícola, a quantidade de N do fertilizante representou uma pequena fração do total de N (cerca de 21,2%). Essa contribuição foi maior do que a observada para cana planta, como demonstrado em vários estudos relatados na literatura. Para cana planta Trivelin et al. (2002), obtiveram NDFP de 11,5% na colheita para doses de 30, 60 e 90 kg ha<sup>-1</sup> de N. Para soqueira Gava et al. (2001) observaram valores de NDFP de 10 a 16% na colheita, enquanto que Franco et al. (2011), verificaram valores de NDFP de 30% na soqueira.

Esses autores ressaltam ainda que, a análise individual do resultado de NDFP, pode levar a subestimar a importância da adubação nitrogenada na nutrição da cana-de-açúcar, visto que, a maioria dos estudos que avaliam a aplicação de fertilizantes marcados com <sup>15</sup>N na cana-de-açúcar, o NDFP é analisado apenas no período de colheita. Sendo desconsiderada uma grande quantidade de informações sobre os efeitos da adubação nitrogenada na nutrição de planta de cana-de-açúcar.

Vários trabalhos sobre o aproveitamento do <sup>15</sup>N fertilizante pela cultura da cana-de-açúcar mostram resultados normalmente inferiores a 40% em cana-soca (TRIVELIN et al., 2002; VITTI, 2003; FORTES et al., 2011; VITTI et al., 2011). Os baixos níveis de aproveitamento do N-fertilizante pela cultura são explicados por possíveis perdas de N no sistema (CANTARELLA; TRIVELIN; VITTI, 2007) e à elevada imobilização de N no solo (COURTAILLAC et al., 1998). Normalmente, a maior parte do N absorvido pelas plantas é derivado do solo ao invés do fertilizante (DOURADO-NETO et al., 2010).

### 3.3.5 Nitrogênio no solo

As concentrações de N no solo aos 30 DAAT variaram entre as fontes e manejos, sendo maiores com a adubação nitrogenada (Tabela 9). Na profundidade de 0,0-0,10 m o manejo com dose complementar de 40 kg ha<sup>-1</sup> apresentou maior concentração de N com valor de 2,1 g kg<sup>-1</sup> em relação aos demais manejos adotados para a fonte NA e o manejo com parcelamento apresentou maior concentração com valor de 1,9 g kg<sup>-1</sup> em relação aos demais para a fonte SA. Com relação aos manejos adotados observa-se que os manejos com dose única de 80 kg ha<sup>-1</sup> e dose complementar de 40 kg ha<sup>-1</sup> apresentaram maiores valores de N na fonte NA do que a fonte SA, contudo, no manejo com parcelamento a maior concentração foi observada na fonte SA.

Na profundidade de 0,10-0,40 m (Tabela 9) observa-se que não houve diferença entre os manejos na fonte NA, enquanto que, na fonte SA o manejo com dose única apresentou maior concentração de N (1,1 g kg<sup>-1</sup>). Para cada manejo dentro das fontes, temos que, os manejos com

**Tabela 9.** Concentração de nitrogênio no solo em três profundidades, durante o período de avaliação. Rio Tinto, Paraíba, Brasil

Fontes de N	Teor de N (30 DAAT)				Teor de N (90 DAAT)				Teor de N (180 DAAT)			
	Manejos (kg ha <sup>-1</sup> )				Manejos (kg ha <sup>-1</sup> )				Manejos (kg ha <sup>-1</sup> )			
	0	80	40+40	80+40	0	80	40+40	80+40	0	80	40+40	80+40
	----- g kg <sup>-1</sup> -----											
	0-10 cm											
NA	1,0 aD	1,8 aB	1,3 bC	2,1 aA	1,1 aD	2,5 aA	2,2 aB	1,5 bC	1,9 aA	2,0 aA	2,1 aA	1,8 aA
SA	1,0 aD	1,3 bC	1,9 aA	1,6 bB	1,1 aB	1,8 bA	1,8 aA	2,2 aA	1,9 aA	1,2 bC	1,8 bA	1,5 bB
F <sub>Fonte</sub>		1,893 <sup>NS</sup>				0,449 <sup>NS</sup>				19,493 <sup>**</sup>		
F <sub>Manejo</sub>		13,233 <sup>**</sup>				17,819 <sup>**</sup>				8,050 <sup>**</sup>		
F <sub>F x M</sub>		9,210 <sup>**</sup>				6,088 <sup>**</sup>				14,354 <sup>**</sup>		
C.V (%)		14,81				14,03				7,62		
	10-40 cm											
NA	0,7 aA	0,8 bA	1,0 aA	0,6 aA	0,9 aB	0,9 aB	1,3 aA	0,9 aB	1,0 aB	1,3 aA	0,9 bBC	0,8 bC
SA	0,7 aBC	1,1 aA	0,7 bBC	0,6 aC	0,9 aA	1,0 aA	0,8 bA	1,0 aA	1,0 aB	0,8 b C	1,3 aA	1,0 aB
F <sub>Fonte</sub>		0,309 <sup>NS</sup>				2,257 <sup>NS</sup>				0,392 <sup>NS</sup>		
F <sub>Ma</sub>		5,869 <sup>**</sup>				1,223 <sup>NS</sup>				0,572 <sup>NS</sup>		
F <sub>F x M</sub>		2,126 <sup>NS</sup>				8,808 <sup>**</sup>				5,376 <sup>**</sup>		
C.V (%)		22,92				10,85				19,59		
	40-70 cm											
NA	0,6 aA	0,6 aA	0,5 aA	0,5 aA	0,8 B	1,0 A	0,8 B	0,6 BC	0,3 aD	1,1 aA	0,6 aC	0,8 a B
SA	0,6 aA	0,4 bA	0,5 aA	0,6 aA	0,8 A	0,9 A	0,7 B	0,7 B	0,3 aB	0,7 bA	0,7 aA	0,6 bA
F <sub>Fonte</sub>		3,672 <sup>NS</sup>				0,007 <sup>NS</sup>				12,953 <sup>**</sup>		
F <sub>Manejo</sub>		1,250 <sup>NS</sup>				9,157 <sup>**</sup>				28,979 <sup>**</sup>		
F <sub>F x M</sub>		3,277 <sup>*</sup>				1,807 <sup>NS</sup>				10,218 <sup>**</sup>		
C.V (%)		22,12				15,41				14,83		

Médias seguidas de mesma minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey; <sup>NS,\*\*,\*</sup> não significativo, significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente. DAAT: Dias após aplicação dos tratamentos.

dose única e complementação da adubação com dose de 40 kg ha<sup>-1</sup> apresentaram maiores concentrações de N para a fonte SA, enquanto que, o manejo com parcelamento da adubação apresentou maior concentração na fonte NA.

Observa-se que não houve diferenças entre os manejos para cada fonte avaliada na profundidade de 0,40-0,70 m (Tabela 9). Contudo, para cada manejo dentro das fontes, constata-se diferença somente no manejo com dose única, no qual a maior concentração de N de 0,6 g kg<sup>-1</sup> foi observada na fonte NA.

Aos 90 DAAT, na profundidade de 0,0-0,10 m para a fonte NA o manejo com dose única apresentou a maior concentração de N com 2,5 g kg<sup>-1</sup>, enquanto que na fonte SA todos os manejos com adubação nitrogenada apresentaram menores concentrações que controle. Ao observarmos as fontes dentro de cada manejo nota-se que no manejo com dose única e parcelamento da adubação as concentrações de N foram maiores na fonte NA com valores de 2,5 e 2,2 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, enquanto que, no manejo com complementação da dose com 40 kg ha<sup>-1</sup>, a maior concentração foi para fonte SA com valor de 2,2 g kg<sup>-1</sup>.

Segundo Duete et al. (2008), para que haja uma melhoria da eficiência de aplicação de nitrogênio, é indicado o uso do parcelamento da adubação nitrogenada. Uma vez que, este tem por objetivo minimizar as perdas por lixiviação e aumentando assim a eficiência, uma vez que uma menor quantidade de nitrogênio ficará sujeita a lixiviação, o que evita perdas.

Na profundidade de 0,10-0,40 m, observa-se que o manejo com parcelamento da adubação promoveu a maior concentração de N com valor de 1,3 g kg<sup>-1</sup> que os demais manejos na fonte NA, levando também a maior concentração de N em relação as fontes (Tabela 9). Em contrapartida, na fonte SA não se observou diferenças entre os manejos adotados.

Aos 0,40-0,70 m de profundidade não foi observada diferença significativa na interação fonte e manejo, apresentando diferença somente quanto ao manejo. Desse modo, Na fonte NA o manejo com dose única apresentou maior concentração de N 1,0 g kg<sup>-1</sup>, à medida que, na fonte SA os manejos que apresentaram as maiores concentrações foram controle e manejo com dose única.

Aos 180 DAAT (Tabela 9), na profundidade de 0,0-0,10 m, não foi observada diferença entre os manejos na fonte NA, por outro lado, na fonte SA, os manejos com parcelamento e controle apresentaram maiores concentrações de N com valores de 1,8 e 1,9 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Em relação a variação das fontes em função do manejo adotado observa-se que a fonte NA promoveu as maiores concentrações de N do que a fonte SA. Esse resultado contradiz nossas expectativas, uma vez que, a fonte NA, disponibiliza o N mais prontamente para solução do solo, sendo este menos adsorvido aos coloides do solo devido sua carga

negativa, enquanto que, o sulfato de amônio tende-se a se adsorver a superfícies das partículas do solo mais facilmente.

Na profundidade de 0,10-0,40 m, na fonte NA o manejo com dose única apresentou maior concentração de N ( $1,3 \text{ g kg}^{-1}$ ) em relação aos demais manejos e promoveu maior concentração de N em relação ao SA. Por outro lado, na fonte SA o manejo com parcelamento da adubação apresentou maior concentração de N com valor de  $1,3 \text{ g kg}^{-1}$  em relação aos demais manejos. Observando o comportamento das fontes nos manejos, temos que, nos manejos com parcelamento da adubação e com complementação da dose a fonte SA apresentou maiores concentrações em comparação a fonte NA.

Aos 0,40-0,70 m de profundidade o manejo com dose única apresentou maior concentração de N com valor de  $1,1 \text{ g kg}^{-1}$ , tendo a fonte NA apresentado as maiores concentrações em relação a fonte SA. Não houve diferença entre os manejos para a fonte SA, enquanto que, os manejos apresentaram menores concentrações em relação a fonte NA.

Observa-se que a concentração de N reduziu com o aumento da profundidade estudada, fato decorrente do maior acúmulo de M.O na superfície que promove incrementos nas concentrações de n, resultante do processo de mineralização da M.O, enquanto que, nas camadas mais profundas essa concentração tende a diminuir tanto em função da redução dos teores de M.O, como devido, as perdas desse nutriente por lixiviação para camadas mais profundas.

Vários processos de transformação de N ocorrem no solo, como mineralização, imobilização, volatilização, nitrificação ou assimilação pelas plantas. Esses processos são vistos como mútuo e, como um todo, teria pouco ou nenhum efeito sobre o N total no solo. Diferentes estudos mostram que a fertilização mineral pode diminuir (SERRET et al., 2008), aumentar (LIU et al., 2017) ou até mesmo causar nenhum (KRISZAN et al., 2009) ou pequeno efeito (CHEN et al., 2011) no solo, em nosso estudo, monitoramos o teor de N do solo para obter uma melhor interpretação de possíveis variações na disponibilidade de N para as plantas devido ao manejo nitrogenado.

O solo do nosso estudo apresentou um teor de N baixo, mesmo com a aplicação da adubação nitrogenada (Tabela 9). O que nos permite inferir que, parte do nitrogênio adicionado ao solo tenha sido perdido, visto que, as únicas mudanças esperadas nas “frações de N” do solo após a fertilização mineral seriam um aumento transitório nos teores de amônia e nitrato no solo (HUÉRFANO et al., 2016).

### 3.4 CONCLUSÕES

A maior proporção de N lixiviado foi na forma do íon  $\text{NO}_3^-$ .

A maior recuperação do nitrogênio do fertilizante ocorreu aos 360 DAAT, sob manejo da adubação complementar.

Nos estágios iniciais de desenvolvimento da cana, até 40% de N na planta é derivado do fertilizante (NDFF). Durante o desenvolvimento da cana, o NDFF diminui ao longo do ciclo e, na colheita, atinge valores em torno de 21,2%.

### REFERÊNCIAS

- ANDRADE NETO, T. M. **Monitoramento de íons na solução do solo e no extrato de saturação em fertirrigação**. 2012. 78 f. Tese Doutorado (Doutorado em Ciências agrárias). Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2012.
- ARNUTI, F.; CECAGNO, D.; MARTINS, A. P.; BALERINI, F.; MEURER, E. J.; SILVA, P. R. F. INTENSIDADE DE IRRIGAÇÃO E MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA DE COBERTURA NO MILHO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO CONSOLIDADO. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 13, n. 3, p. 29-40, 2017. Disponível em: <<http://doi.org/10.5747/ca>>.
- BALL-COELHO, B.; SAMPAIO, E. V. S. B.; TIESSEN, H.; STEWART, J. W. B. Root dynamics in plant and ratoon crops of sugar cane. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 142, n. 2, p. 297-305, 1992.
- BORTOLINI, C. G. **Eficiência do método de adubação nitrogenada em pré-semeadura do milho implantado em semeadura direta após aveia preta**. 2000. 48f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.
- BOUWMEESTER, R. J. B.; VLEK, P. L. G.; STUMPE, J. M. Effect of environmental factors on ammonia volatilization from a urea-fertilized soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 49, n. 2, p. 376-381, 1985.
- CAMARGO, P. B.; CABEZAS, W. A. R. L.; TRIVELIN, P. C. O. **Destino do N de fertilizantes –  $^{15}\text{N}$  (uréia e aquamônia) aplicados na cultura da cana-de-açúcar**. I. Deslocamento no solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 22., 1989, Recife. Resumos. Recife. SBCS, 1989. p. 70-71.
- CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C. Nitrogênio e enxofre na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (Eds.). Nitrogênio e Enxofre na Agricultura Brasileira. Piracicaba: **International Plant Nutrition Institute**, p. 349–412, 2007.

CARDUCCI, C. E.; OLIVEIRA, G. C. de; MAIA DE OLIVEIRA, L.; BARBOSA, S. M.; SILVA, E. A. Retenção de água do solo sob sistema conservacionista de manejo com diferentes doses de gesso. **Revista Ciência Agrária - Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, Belém, v. 58, n. 3, p. 284-291, 2015.

CHAPOLA, R. G.; HOFFMANN, H. P.; BASSINELLO, A. L.; FERNANDES JUNIOR, A. R. **Censo Varietal 2012**. Araras: CCA-UFSCar, p. 55. 2012.

CHEN, R., HU, J., DITTERT, K., WANG, J., ZHANG, J., LIN, X. Soil total nitrogen and natural <sup>15</sup>Nitrogen in response to long-term fertilizer management of a maize-wheat cropping System in Northern China. **Communications in Soil Science Plant Analysis**. New York, v. 42, p. 322–331, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/00103624.2011.538883>>.

COMETTI, N. N.; MATIAS, G. C. S.; ZONTA, E.; MARY, W.; FERNANDES, M. S. Efeito da concentração da solução nutritiva no crescimento da alface em cultivo hidropônico-sistema NFT. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 26, p. 262-267, 2008.

CORREA, R. S.; WHITE, R. E.; WEATHERLEY, A. J. Risk of nitrate leaching from two soils amended with biosolids. **Water Resources**, New York, v. 33, n. 4, p. 453- 462, 2006.

COURTAILLAC, N.; BARAN, R.; OLIVER, R.; CASABIANCA, H.; GANRY, F. Efficiency of nitrogen fertilizer in sugarcane-vertical system in Guadeloupe according to growth and ratoon age of the cane. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 52, p. 9–17, 1998.

DOURADO-NETO, D.; POWLSON, D.; ABU BAKAR, R.; BACCHI, O. O. S.; BASANTA, M.V., THI CONG, P.; KEERTHISINGHE, G.; ISMAILI, M.; RAHMAN, S. M.; REICHARDT, K.; SAFWAT, M. S. A.; SANGAKKARA, R.; TIMM, L. C.; WANG, J. Y.; ZAGAL, E.; VAN KESSEL, C. Multiseason recoveries of organic and inorganic nitrogen-15 in tropical cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 74, p. 139–152, 2010.

DUETE, R. R. C.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C.; TRIVELIN, P. C.O.; AMBROSANO, E. J. Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio (<sup>15</sup>N) pelo milho em Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 161-171, 2008.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro. Centro Nacional de Pesquisa de Solo, 1997. 212p.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes** / editor técnico, Fábio Cesar da Silva. 2 ed. Revista ampliada, Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. p. 627.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos** / Humberto Gonçalves dos Santos... [et al.]. 3 ed. Rev. Ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. p. 353.

ERNANI, P. R. **Nutrição e produtividade de espécies vegetais em sistemas de plantio direto e convencional**. In: REUNIÃO TÉCNICA CATARINENSE: MILHO & FEIJÃO, Lages, 2., 1999. Resumos. Lages: UDESC/EPAGRI, v.1, p.19-30, 1999.

ERNANI, P. R.; SANGOI, L.; RAMPAZZO, C. Influência do método de aplicação da uréia e dos restos culturais de aveia preta na lixiviação de nitrogênio e no rendimento de matéria seca do milho. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 738-748, 2002.

FERNANDES, F.; LIBARDI, P. L.; CARVALHO, L. Internal drainage and nitrate leaching in a corn-black oat-corn succession with two split nitrogen applications. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, n. 5, p. 483-492, 2006.

FERNANDES, F.C.S. & LIBARDI, P.L. Drenagem interna e lixiviação de nitrato em um Latossolo sob sucessão milho-braquiária-milho, com diferentes doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 1163-1173, 2009.

FERREIRA, DANIEL FURTADO. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FILLERY, I. R. P. Plant-based manipulation of nitrification in soil: a new approach to managing N loss? **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 294, n. 1-2, p. 1-4, 2007.

FLEY, R.; ZOZ, T.; STEINER, F.; RICHART, A.; BRITO, O. R. Leaching of nitrogen in column in regarding soil particle size. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 11, n. 2, p. 181-185, 2010.

FORTES, C.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; FERREIRA, D. A.; FRANCO, H. C. J.; OTTO, R. Recovery of Nitrogen (N-15) by Sugarcane from Previous Crop Residues and Urea Fertilisation Under a Minimum Tillage System. **Sugar Tech**, Nova Deli, v. 13, n. 1, p. 42-46, 2011.

FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; OTTO, R. Aproveitamento pela cana-de-açúcar da adubação nitrogenada de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2763-2770, 2008.

FRANCO, H. C. J.; OTTO, R.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; OLIVEIRA, E. C. A.; TRIVELIN, P. C. O. Nitrogen in sugarcane derived from fertilizer under Brazilian field conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 21, p. 29-41, 2011.

FRIES, M. R. Microbiologia e matéria orgânica: recuperação pelo sistema plantio direto. In: FRIES, M. R.; DALMOLIN, R.S.D. (Coord.). **Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto**. Santa Maria: Pallotti, Cap.3, p.47-75, 1997.

GAVA, G. J. C., TRIVELIN, P. C. O., OLIVEIRA, M. W., PENATTI, C. Crescimento e acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em solo coberto com palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, p. 1347-1354, 2001.

GEE, G.W.; OR, D. Particle-size analysis. In: DANE, J.H.; TOPP, G.C., eds. Methods of soil analysis. Physical methods. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, Part 4. p. 255-293, 2002.

GHIBERTO, P. J.; LIBARDI, P. L.; BRITO, A. S.; TRIVELIN, P. C. O. Leaching of nutrients from a sugarcane crop growing on na Ultisol in Brazil. **Agricultural Water Management**, Dordrecht, v. 96, p. 1443- 1448. 2009a.

GHIBERTO, P. J.; LIBARDI, P. L.; BRITO, A. S.; TRIVELIN, P. C. O. Nitrogen fertilizer leaching in an Oxisol cultivated with sugarcane. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 68, n. 1, p. 86-93, 2011.

GROFFMAN, P. M. Nitrogen in the environment. In: SUMNER, M.E. (Ed.). **Handbook of Soil Science**. New York: CRC Press, chap. CAS, p. C190-C200. 2000.

GUIBERTO, P. J. **Lixiviação de nutrientes em um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar**. 2009. 152 f. Tese de Doutorado (Solos e Nutrição de Plantas). Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de queiroz”, Piracicaba, 2009.

HALVIN, J. L.; BEATON, J. D.; TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management. **New Jersey**, Prentice Hall, 1994. 515 p. 2005.

HAUCK, R. D.; MEISINGER, J. J.; MULVANEY, R. L. Practical considerations in the use of nitrogen tracers in agricultural and environmental research. In: ickelson, S.H., Bigham, J. M. (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part II. Microbiological and Biochemical Properties*. **Soil Science Society of America**, Madison. 1994.

HUÉRFANO, X.; FUERTES-MENDIZÁBAL, T.; FERNÁNDEZ-DÍEZ, K.; ESTAVILLO, J. M.; GONZÁLEZ-MURUA, C.; AND MENÉNDEZ, S. The new nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole succinic (DMPSA) as an alternative to DMPP reducing N<sub>2</sub>O emissions from wheat crops under humid Mediterranean conditions. **European Journal Agronomy**, Amsterdam, v. 80, p. 78–87, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.07.001>>.

JADOSKI, S. O.; SAITO, L. R.; PRADO C.; SALES, L. S. R. Características da lixiviação de nitrato em áreas de agricultura intensiva. **Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia**, Guarapuava, v. 3, p. 193-200, 2010.

KRISZAN, M.; AMELUNG, W.; SCHELLBERG, J.; GEBBING, T.; KUHBAUCH, W. Long-term changes of the  $\delta^{15}\text{N}$  natural abundance of plants and soil in a temperate grassland. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 325, p. 157–169, 2009.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da Água no Solo**. Editora da Universidade de São Paulo (EDUSP), São Paulo, 2005. p. 344.

LIU, J.; WANG, C.; PENG, B.; XIA, Z.; JIANG, P.; BAI, E. Effect of nitrogen addition on the variations in the natural abundance of nitrogen isotopes of plant and soil components. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 412, p. 453–464, 2017.

MAXIMO, E.; BENDASSOLI, J. A.; TRIVELIN, P. C. O.; ROSSETE, A. L.; OLIVEIRA DE, R.; PRESTES, C. P. Produção de sulfato de amônio duplamente marcado com os isótopos estáveis <sup>15</sup>N e <sup>34</sup>S. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 211-216, 2005.

MEGDA, M. X. V.; TRIVELIN, P. C. O.; FRANCO, H. C. J.; OTTO, R.; VITTI, A. C. Eficiência agrônômica de adubos nitrogenados em soqueira de cana-de-açúcar colhida sem queima. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 12, p. 1681-1690, 2012.

MUALEM, Y. A new model predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. **Water Resources Research**, Washington, n. 12, p. 513–522, 1976.

- NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W.; WIERENGA, P. J. Nitrogen transport processes in soil. In: STEVENSON, F.J.; BREMMER, J.M.; HAUCK, R.D.; KEENEY, D.R. (Ed.). Nitrogen in agricultural soils. Madison: **American Society of Agronomy**, chap. 11, p. 423-445. 1982.
- OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E.; MARCIANO, C. R.; MORAES, S. O. Nitrate leaching in a sewage sludge-amended Typic Hapludox cultivated with sugarcane. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, p. 171-180, 2001.
- OLIVEIRA, M. W.; TRIVELIN, P. C. O.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; MORATTI, J. Leaching of nitrogen, potassium, calcium and magnesium in a sandy soil cultivated with sugarcane. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p. 861-868, 2002.
- PENATTI, C. P. **Adubação da cana-de-açúcar - 30 anos de experiência**. 1. ed. Itu, SP, Brazil: Editora Ottoni, 2013. p. 347.
- PEREGO, A.; BASILE, A.; BONFANTE, A.; MASCELLIS, R.; TERRIBILE, F.; BRENN, S.; ACUTIS, M. Nitrate leaching under maize cropping systems in Po Valley (Italy). **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 147, p. 57-65, 2012.
- PHILLIPS, I.; BURTON, E. Nutrient leaching in undisturbed cores of an acidic sandy Podsol following simultaneous potassium chloride and di-ammonium phosphate application. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 73, p. 1-14, 2005.
- PIOVESAN, R. P.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V.; REISSMANN, C. B. Perdas de nutrientes via subsuperfície em colunas de solo sob fertilização mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 757-766, 2009.
- RAIJ, B. VAN.; CANTARELLA, H. Outras culturas industriais. In: RAIJ, B. VAN.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Fundação IAC, (IAC. Boletim, 100). 1996, p. 233-243.
- RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 2001. p. 285.
- REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. 2 ed. Barueri: Manole, 2012. p. 524.
- RENK, A.; LEHMANN, L. Rapid water flow and transport of inorganic and organic nitrogen in a highly aggregated tropical soil. **Soil Science**, Baltimore, v. 169, n. 5, p. 330-341, 2004.
- REYNOLDS, W. D.; ELRICK, D. E. Constant head well permeameter (vadose zone). In: J. h. DANE; G. C. TOPP, Eds, Methods of soil analysis, part 4, physical methods, p. 844-858. **Soil Science Society of America**, Madison, 2002.
- SAINZ ROZAS, H. R.; ECHEVERRIA, H. E. & BARBIERI, P. A. Nitrogen balance as affected by application time and nitrogen fertilizer rate in irrigated no-tillage maize. **American Society of Agronomy**, Madison, v. 9, p. 1622-1631, 2004.
- SALCEDO, L. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Nutrient dynamics in sugar cane. II NO<sub>3</sub>-N and NH<sub>4</sub>-N lateral and vertical movement in the soil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 9, p. 1103-1108, 1984.

- SANGOI, L.; ERNANI, P. R.; LECH, V. A.; RAMPAZZO, C. Lixiviação de nitrogênio afetada pela forma de aplicação da uréia e manejo dos restos culturais de aveia em dois solos com texturas contrastantes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 1, p. 65-70, 2003.
- SERRET, M. D.; ORTIZ-MONASTERIO, I.; PARDO, A.; ARAUS, J. L. The effects of urea fertilisation and genotype on yield, nitrogen use efficiency,  $\delta^{15}\text{N}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  in wheat. **Annals of Applied Biology**, Hoboken, v. 153, p. 243–257, 2008.
- SMITH, D. M.; INMAN-BAMBER, N. G.; THORBURN, P. J. Growth and function of the sugarcane root system. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p. 169-183, 2005.
- SOUZA, J. A.; ROCHA, G. A.; GOMES, M. P.; REZENDE, C. H. S. Nitrogen dynamics in a Latosol cultivated with coffee. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande. v. 22, n. 6, p. 390-395, 2018. Disponível em : <<http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n6p390-395>>.
- TABATAI, M. A.; BASTA, N. T. Ion Chromatography. In: SMITH, K.T. (Ed.). **Soil analysis: modern instrumental techniques**. New York: Marcel Dekker, 1991. chap. 5, p. 229-259.
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5). 1995.
- TRIVELIN, P. C. O.; SALATI, E. & MATSUI, E. **Preparo de amostras para análise de  $^{15}\text{N}$  por espectrometria de massas**. Piracicaba, CENA/USP, 41p. (Boletim Técnico, 2). 1973.
- TRIVELIN, P. C. O.; LARA CABEZAS, W.A.R.; VICTORIA, R.L. & REICHARDT, K. Evaluation of a  $^{15}\text{N}$  plot design for estimating plant recovery of fertilizer nitrogen applied to sugarcane. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 51, p. 226-234, 1994.
- TRIVELIN, P. C. O.; OLIVEIRA, M. W.; VITTI, A. C.; GAVA, G. J.; BENDASSOLLI, J. A. Perdas do nitrogênio da uréia no sistema solo-planta em dois ciclos de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 2, p. 193-201, 2002.
- URQUIAGA, S.; XAVIER, R. P.; MORAIS, R. F. DE; BATISTA, R. B.; SCHULTZ, N.; LEITE, J. M.; MAIA E SÁ, J.; BARBOSA, K. P.; RESENDE, A. S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Evidence from field nitrogen balance and  $^{15}\text{N}$  natural abundance data for the contribution of biological  $\text{N}_2$  fixation to Brazilian sugarcane varieties. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 356, p. 5–21, 2012.
- VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 44, 892–898, 1980.
- VITTI, A. C. **Adubação nitrogenada da cana-de-açúcar (soqueira) colhida mecanicamente sem a queima prévia: manejo e efeito na produtividade**. [s.l.] Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- VITTI, A. C.; FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O.; FERREIRA, D. A.; OTTO, R.; FORTES, C.; FARONI, C. E. Nitrogênio proveniente da adubação nitrogenada e de resíduos culturais na nutrição da cana-planta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, p. 287-293, 2011.



**4 PRODUTIVIDADE E QUALIDADE TECNOLÓGICA DA CANA SOCA, EM  
RELAÇÃO A FONTES E MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA**

## Produtividade e qualidade tecnológica da cana soca, em relação a fontes e manejo da adubação nitrogenada

### RESUMO

A adubação nitrogenada é uma prática comum na cultura da cana-de-açúcar, a qual visa atingir níveis sustentáveis de produtividade, tanto na cana planta quanto na cana soca. Tornando-se assim, fundamental a adoção de novas técnicas que visem a otimização da produtividade da cultura, como a adoção de manejos mais eficientes que possam atingir a máxima eficiência da adubação. Desse modo, o objetivo do trabalho foi avaliar diferentes manejos da adubação nitrogenada e fontes nitrogenadas na produção de massa seca da parte aérea, na produtividade de colmos e nas variáveis agroindustriais da cana-de-açúcar. O experimento foi instalado em condições de campo, em cana soca, no Tabuleiro Costeiro Paraibano em Março de 2017 em solo de textura arenosa localizado na área agrícola da destilaria Japungú, situado no Município de Santa Rita, PB. Os tratamentos consistiram da aplicação da dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de N, nas fontes nitrato de amônio (33% de N) e sulfato de amônio (21% de N) aplicada sob os manejos: manejo 1 (80 kg ha<sup>-1</sup> de N, aplicados em dose única no segundo mês após o corte (MAC)), manejo 2 (80 kg ha<sup>-1</sup> de N aplicado de forma parcelada na quantidade de 40 kg ha<sup>-1</sup> de N no segundo MAC e 40 kg ha<sup>-1</sup> de N no quarto MAC), manejo 3 (80 kg ha<sup>-1</sup> de N aplicados em dose única no segundo MAC, mais complemento de 24 kg ha<sup>-1</sup> de N aplicados no quarto MAC), manejo 4 (80 kg ha<sup>-1</sup> de N aplicados em dose única no segundo MAC, mais complemento de 40 kg ha<sup>-1</sup> de N aplicados no quarto MAC), manejo 5 (80 kg ha<sup>-1</sup> de N aplicados em dose única no segundo MAC, mais complemento de 56 kg ha<sup>-1</sup> de N aplicados no quarto MAC). A primeira adubação foi realizada em 08/03/2017 e a segunda adubação foi realizada em 08/05/2017. Aos 30, 90, 180 e 360 dias após aplicação dos tratamentos (DAAT) foram coletadas as plantas de 1 m de cada parcela para se quantificar a massa seca da parte aérea. Durante este mesmo período foi realizada o monitoramento do crescimento das plantas. Aos 360 DAAT, foram avaliados a produtividade de colmos (TCH) e de pol por hectare (TPH). Adicionalmente realizou-se em 10 amostras de colmo a avaliação das variáveis tecnológicas: sólidos solúveis (°Brix), a percentagem de sacarose aparente no caldo (Pol), fibra, a percentagem de sacarose no colmo (PC) e o açúcar teórico recuperável (ATR). Para ambas as fontes, as diferenças entre os manejos só foram observadas a partir dos 180 DAAT. A adubação complementar com 24, 40 e 56 kg ha<sup>-1</sup> de N promoveram as maiores alturas e diâmetro de colmo com valores médios de 2,8 m e 29,9 cm, respectivamente. Houve aumento na produção de MSPA e no TCH independente da fonte de N adotada. A prática do manejo da adubação nitrogenada promoveu incrementos médios de 12 e 8 ha<sup>-1</sup> de MSPA e TCH, respectivamente, em relação ao controle, que produziu 26 e 67 t ha<sup>-1</sup>.

**Palavras-chaves:** TPH. TCH. *Saccharum* spp. Fontes de nitrogênio.

## Productivity and technological quality of cane soca, in relation to sources and management of nitrogen fertilization

### ABSTRACT

The efficiency of nitrogen fertilization in sugarcane cultivated in Brazil is not more than 40%, so the adoption of new management aimed at optimizing the use of nitrogen fertilizers will make the sugar-energy production of the country more sustainable. The objective of this work was to evaluate the different management of nitrogen fertilization and the use of nitrogen sources in the production of shoot dry matter, shoot yield and soca cane agroindustrial variables. The experiment was carried out under field conditions at the Coastal Tableland Paraibano in March 2017 on sandy soil located in the agricultural area of the Japungú distillery, located in the Municipality of Santa Rita, PB. The treatments consisted of the application of 80 kg ha<sup>-1</sup> of N in the sources of ammonium nitrate (33% N) and ammonium sulphate (21% N) applied under management: management 1 (80 kg ha<sup>-1</sup> of N, applied in a single dose in the second month after cutting (MAC), management 2 (80 kg ha<sup>-1</sup> of N applied in installments in the amount of 40 kg ha<sup>-1</sup> of N in the second MAC and 40 kg ha<sup>-1</sup> of N in the MAC room), handling 3 (80 kg ha<sup>-1</sup> of N applied in a single dose in the second MAC, plus complement of 24 kg ha<sup>-1</sup> of N applied in the MAC room), handling 4 (80 kg h<sup>-1</sup> of N applied in a single dose in the second MAC, plus 40 kg ha<sup>-1</sup> of N applied in the MAC room), handling 5 (80 kg ha<sup>-1</sup> N applied in a single dose in the second MAC, plus complement of 56 kg ha<sup>-1</sup> of N applied in the MAC room) The first fertilization was performed on 08/03/2017 and the second fertilization was performed on 08/05/2017. At 30, 90, 180 and 360 days after application of the treatments (DAAT) were collected plants of 1 m of each plot to quantify the dry mass of the aerial part. At DAAT 360, yield of stalks (TCH) and pol in per hectare (TPH) were evaluated. In addition, the evaluation of the technological variables: soluble solids (oBrix), the percentage of apparent sucrose in the broth (Pol), fiber, the percentage of sucrose in the stem (PC) and the theoretical recoverable sugar (ATR). For both sources, the differences between the managements were only observed from the 180 DAATs. Complementary fertilization with 24, 40 and 56 kg ha<sup>-1</sup> of N promoted the highest heights and stalk diameter with mean values of 2.8 m and 29.9 cm, respectively. There was an increase in the production of MSPA and TCH independent of the source of N adopted. Nitrogen fertilization management promoted mean increments of 12 and 8 ha<sup>-1</sup> of MSPA and TCH, respectively, in relation to the control.

**Keywords:** TPH. TCH. *Saccharum* spp. Sources of nitrogen.

## 4.1 INTRODUÇÃO

O Brasil é atualmente o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, a importância que esta cultura representa, tanto no cenário nacional quanto internacional, traz inúmeros benefícios para o país. No entanto, apesar das conquistas numéricas obtidas no campo, a produtividade dos canaviais ainda se encontra abaixo do potencial genético das cultivares atualmente utilizadas (ALBUQUERQUE; SILVA, 2008).

A redução da produtividade dos canaviais pode ser atribuída à baixa oferta de nutrientes dos solos e a disponibilidade hídrica. Portanto, é de suma importância conhecer as exigências minerais da cana-de-açúcar a qual irá direcionar a novos métodos e formas de adubação mais eficazes, com menor perda e economicamente viáveis (COLETI et al., 2006; OLIVEIRA, 2011).

Desse modo, observa-se a necessidade do maior conhecimento da nutrição dessas plantas, principalmente no que se refere a disponibilidade de N, uma vez que, este nutriente sofre grandes perdas no sistema solo-planta, sendo considerado um dos nutrientes mais difíceis de ser manejado (VITTI et al., 2007 b). A cana-de-açúcar por apresentar alta exigência em N, este se torna um dos nutrientes mais limitantes, tanto no desenvolvimento como na expressão do potencial produtivo da cultura (AMBROSANO et al., 2013).

Constata-se portanto, a necessidade de fontes de N que apresentem menores perdas, pois o acúmulo de palhada dificulta a incorporação do adubo no solo (TRIVELIN et al., 1997). Desse modo, diversos trabalhos nos últimos anos com diferentes fontes de N têm demonstrado perdas reduzidas por volatilização de amônia mediante o uso de fontes não amídicas, como o sulfato, nitrato ou cloretos de amônio, levando conseqüentemente a melhores resultados de produtividade da cultura (COSTA et al., 2003; VITTI et al 2007; VIEIRA et al., 2009).

Com relação ao manejo da adubação, o maior problema é quanto ao uso do nitrogênio na adubação de soqueira, visto que, atualmente, boa parte dos canaviais estão sendo colhidos sem queima, resultando em cobertura de palha no solo, fornecendo inúmeros benefícios a curto e longo prazo, como menor flutuações da temperatura do solo, redução da erosão do solo, melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, (CARVALHO et al., 2017).

Contudo, a presença de palhada sobre o solo associada aplicação de fonte de N mais susceptíveis a perda como a uréia, que é a fonte nitrogenada mais utilizada na cultura, apresenta elevada taxa de perda por volatilização, além disso, vários trabalhos relatam o aumento da lixiviação de N, quando se tem a manutenção da palhada sobre a superfície solo do que quando é incorporada, sendo explicada pelas melhores condições resultante da deposição da palhada

sobre a superfície do solo, como umidade e temperatura, favorecem a atividade microbiana, que leva a uma maior mineralização da matéria orgânica (FRIES, 1997; ERNANI et al., 2002; SANGOI et al., 2003; FERNANDES; LIBARDI, 2009) e transforma mais  $\text{NH}_4^+$  para  $\text{NO}_3^-$ , tornando o nitrogênio mais facilmente lixiviável. Como a uréia perde muito por volatilização quando aplicada sobre a palhada residual no solo, é necessário o uso de fontes menos susceptíveis a essa perda como a utilização do nitrato e o sulfato de amônio, que possuem características que levam a menor perda por volatilização, contudo, contribuem para outras perdas como a lixiviação.

Costa et al. (2009), trabalhando com o rendimento da cana-de-açúcar irrigada nos tabuleiros costeiros da Paraíba, sob aplicações parcelada de diferentes adubos, observaram que o parcelamento na aplicação da uréia em cobertura foi provavelmente o que ocasionou aumento no rendimento bruto de álcool, visto que, sua aplicação de forma parcelada fez com que o mesmo tenha sido assimilado de forma eficiente pela cultura.

Desse modo, alternativas ao manejo da adubação em socaria seria a adoção de fontes de N mesmos susceptíveis a perdas, bem como o emprego do parcelamento de da complementação da adubação, visando promover menores perdas de N no sistema, resultando em maior aproveitamento deste nutriente pela cultura.

Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar diferentes manejos da adubação nitrogenada e fontes nitrogenadas na produção de massa seca da parte aérea, na produtividade de colmos e nas variáveis agroindustriais da cana-de-açúcar.

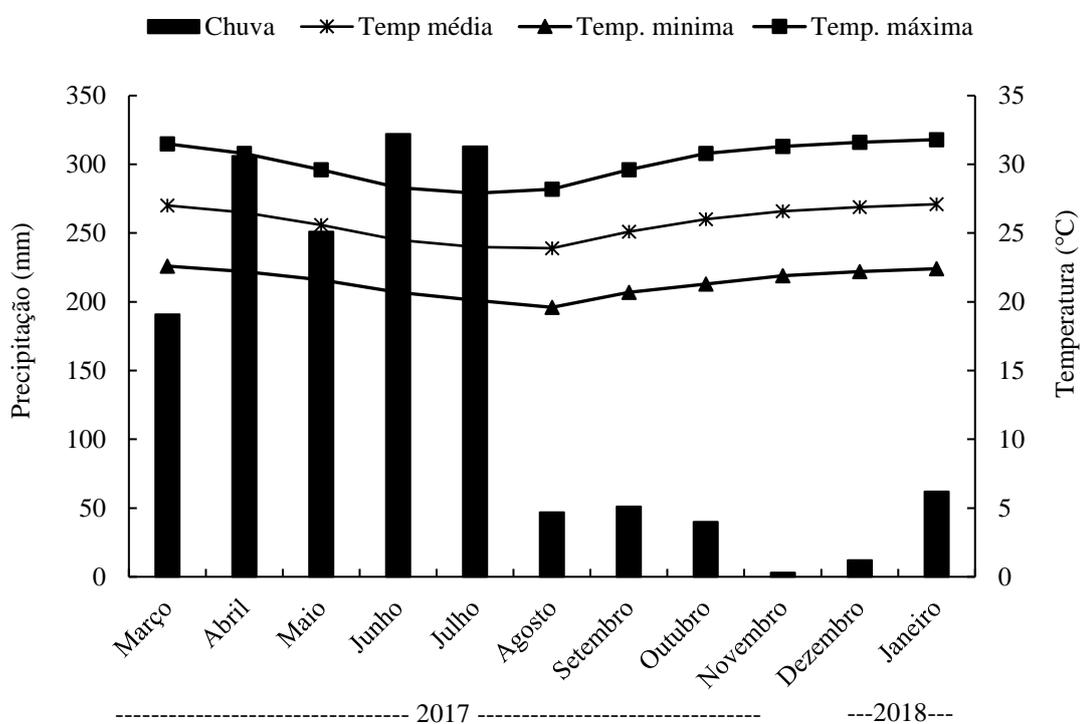
## **4.2 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.2.1 Área experimental**

A pesquisa foi realizada em condições de campo no período de março de 2017 a janeiro de 2018, durante a safra agrícola de 2017/2018 no ciclo de cana soca (primeira rebrota). O experimento foi implantado na área agrícola da Destilaria Japungu, situado no município de Rio tinto, PB, o clima da região é classificado como As, quente e úmido.

O solo da área experimental foi classificado como Espodossolo Humulúvico órtico, dúrico (Embrapa, 2013). A caracterização química e física foi realizada nas profundidades 0,0 - 0,20 e 0,20 - 0,40 (Tabela 1). Durante a condução do experimento a precipitação acumulada foi de 1.598,0 mm (Figura 1).

Quimicamente o solo foi caracterizado pelo pH (H<sub>2</sub>O), Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Al<sup>3+</sup>, (H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup>), P, M.O. O Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup> foram extraídos com KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup> e dosados por titulometria; o P, K<sup>+</sup>, foram extraídos por Mehlich-1, sendo o P dosado por colorimetria, o K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup> por fotometria de chama (EMBRAPA, 2009). A acidez potencial (H+Al<sup>3+</sup>) foi extraída com acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> e dosado por titulometria. A matéria orgânica (M.O) foi determinada pelo método colorimétrico (RAIJ et al., 2001). Com os resultados das análises químicas foram calculados a soma de bases (SB), CTC efetiva (t), CTC potencial (T), saturação por alumínio (m) e saturação por bases (V).



**Figura 1.** Precipitação pluviométrica durante a condução do experimento, em Rio Tinto – Paraíba

Fisicamente foi determinado no solo a granulometria, definindo sua classe textural de acordo com Gee e Or (2002), densidade do solo, densidade das partículas, umidade na capacidade de campo ( $\theta_{CC}$ ) e no ponto de murcha permanente ( $\theta_{PMP}$ ) (EMBRAPA, 1997) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Caracterização química e física do solo da área experimental, nas profundidades de 0,0 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m

<i>Atributos do Solo</i>	<i>Química do Solo</i>	
	<i>Profundidade (m)</i>	
	0,0-0,20	0,20-0,40
pH (H <sub>2</sub> O 1:2,5)	6,49	5,57
H + Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,16	2,35
Ca <sup>+2</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,22	0,74
Mg <sup>+2</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,33	0,11
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,76	0,64
Na <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,15	0,09
SB <sup>(1)</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,46	1,58
CTC <sub>potencial</sub> <sup>(2)</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,62	3,93
CTC <sub>efetiva</sub> <sup>(3)</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,46	1,77
V <sup>(4)</sup> (%)	67,96	40,20
m <sup>(5)</sup> (%)	0,00	10,73
M.O (g kg <sup>-1</sup> )	5,1	2,9
P (mg dm <sup>-3</sup> )	1,41	1,14
	<i>Física do Solo</i>	
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	901,0	924,4
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	38,4	3,6
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	60,5	72,1
Ds <sup>(6)</sup> (g cm <sup>-3</sup> )	1,42	1,44
Dp <sup>(7)</sup> (g cm <sup>-3</sup> )	2,67	2,68
e <sub>v<sub>cc</sub></sub> <sup>(8)</sup> (cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup> )	0,15	0,17
e <sub>v<sub>pmp</sub></sub> <sup>(9)</sup> (cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup> )	0,11	0,14
Classe Textural	Arenosa	Arenosa

<sup>(1)</sup> Soma de base; <sup>(2)</sup> Capacidade de troca de cátions potencial; <sup>(3)</sup> Capacidade de troca de cátions efetiva <sup>(4)</sup> Saturação por bases; <sup>(5)</sup> Saturação por alumínio; <sup>(6)</sup> densidade do solo; <sup>(7)</sup> Densidade das partículas; <sup>(8)</sup> Capacidade de campo; <sup>(9)</sup> Ponto de murcha permanente.

#### 4.2.2 Descrição dos tratamentos e arranjo experimental

Os tratamentos constaram na avaliação de cinco manejos da adubação nitrogenada, duas fontes de fertilizantes nitrogenados e o tratamento controle sem adição do N. As fontes utilizadas foram o nitrato de amônio (33% de N) e sulfato de amônio (21% de N) na dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de N, aplicada sob os manejos: manejo1 (80 kg ha<sup>-1</sup> de N, aplicados em dose única no segundo mês após o corte (MAC)), manejo 2 (80 kg ha<sup>-1</sup> de N aplicado de forma parcelada na quantidade de 40 kg ha<sup>-1</sup> de N no segundo MAC e 40 kg ha<sup>-1</sup> de N no quarto MAC), manejo 3 (80 kg ha<sup>-1</sup> de N aplicados em dose única no segundo MAC, mais complemento de 24 kg ha<sup>-1</sup> de N aplicados no quarto MAC), manejo 4 (80 kg ha<sup>-1</sup> de N aplicados em dose única no segundo MAC, mais complemento de 40 kg ha<sup>-1</sup> de N aplicados no quarto MAC), manejo 5 (80 kg ha<sup>-1</sup> de N aplicados em dose única no segundo MAC, mais complemento de 56 kg ha<sup>-1</sup> de N

aplicados no quarto MAC), e um tratamento adicional sem aplicação de fertilizante nitrogenado. A primeira adubação foi realizada em 08/03/2017 e a segunda adubação foi realizada em 08/05/2017.

Os fertilizantes nitrogenados foram aplicados manualmente sobre a superfície da palha residual de cana-de-açúcar, em faixa distante 0,1 m da linha da cultura. Em cada parcela, foram aplicados também, 120 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O com a fonte cloreto de potássio (KCL).

Os tratamentos foram dispostos em arranjo fatorial de (3 x 2) + 1, sob o delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições. As parcelas experimentais foram constituídas de 4 linhas duplas de cana-de-açúcar com 10 m de comprimento. A área útil da parcela abrangerá as duas linhas centrais (1 linha dupla) com oito metros de comprimento. Para avaliar o efeito dos tratamentos foi utilizada a variedade de cana-de-açúcar, RB92579, escolhida por ser muito cultivada no Brasil (CHAPOLA et al., 2012).

#### **4.2.3 Produção de biomassa na parte aérea das plantas**

As amostragens para determinação do máximo acúmulo de matéria seca de parte aérea das plantas foram realizadas aos 30, 90, 180 e 360 dias após a aplicação dos tratamentos (DAAT). Em cada amostragem foram coletadas as plantas de 1 m de cada parcela. As amostras foram separadas em ponteiro, folha e colmo, sendo o ponteiro constituído do cartucho e da folha +1 (que apresentava o primeiro colarinho visível); para o componente folha (folha + bainha), consideraram-se as folhas secas e verdes a partir da folha +1; e após a retirada do ponteiro e folhas, o restante foi considerado colmo.

Os ponteiros, folhas e colmos, após serem separados, foram pesados, determinando-se a massa de matéria fresca total. Em seguida, foram retiradas subamostras para determinação da massa úmida. As subamostras foram submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até peso constante, para obtenção da matéria seca (OLIVEIRA et al., 2010).

#### **4.2.4 Monitoramento do crescimento vegetativo da cana-de-açúcar**

O crescimento foi avaliado aos 30, 90, 180 e 360 dias após aplicação dos tratamentos, na área útil das parcelas, sendo quantificado o número de plantas em 1 metros de comprimento (perfilhamento), se contabilizando os dados de altura e diâmetro do colmo em dez plantas. A altura do colmo foi mesurada com auxílio de uma fita métrica, a partir do solo até o colarinho da folha (+1) e o diâmetro do colmo foi dimensionado utilizando-se paquímetro no terço médio

da planta. A folha (+1) foi considerada como aquela que apresentava o primeiro colarinho totalmente visível. Para quantificar o número de folhas, foram contadas todas as folhas com mais de 20% do limbo foliar em bom estado e completamente expandido (OLIVEIRA et al., 2010).

#### **4.2.5 Avaliação da produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar**

Para determinação da produtividade (TCH), os colmos da área útil de cada parcela experimental foram colhidos em corte manual, sem queima, eliminando a parte apical. A pesagem foi realizada ainda no campo com auxílio de dinamômetro PR 30 - 3000, com precisão de 500 g para quantificar a produtividade de colmos ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ). Após a pesagem, foi realizada amostragem aleatória de dez colmos, os quais foram encaminhados ao Laboratório para análise tecnológica.

As amostras foram passadas em forrageira, e foram coletadas subamostras para determinação dos atributos tecnológicos da cana-de-açúcar. As subamostras foram submetidas à prensa hidráulica automáticas MA098, sob pressão de  $250 \text{ kg cm}^{-2}$ , durante 1 min, tendo-se coletado o caldo do colmo. No caldo, foram quantificados os sólidos solúveis totais ( $^{\circ}\text{Brix}$ ) com refratômetro digital Autopol 589, dotado de correção automática de temperatura. A percentagem de sacarose aparente no caldo (Pol) foi obtida por meio de sacarímetro automático Autopol589. Foram determinados a percentagem de fibra, o açúcar teórico recuperável e a percentagem de sacarose no colmo (PC), de acordo com as equações descritas em Carvalho et al. (2008). A produtividade de açúcar ou tonelada de Pol por hectare (TPH) foi estimada pela equação:  $\text{TPH} = \text{TCH} \times \text{PC}/100$ , conforme Lima Neto et al. (2013).

#### **4.3 Análise estatística**

Os dados de biomassa foram avaliados como medidas repetidas no tempo. Seguindo o procedimento para modelo misto, e o teste de covariância [AR (1), Ante (1), ARH (1), ARMA (1), CE, CSH, HF, TOEP, Lin (1), UN] que apresentou o menor valor do critério de Akaike, utilizando o programa estatístico SAS Learning 2.0.

A análise de regressão foi realizada em função do tempo nas variáveis quantitativas em que foi observado um efeito significativo ( $P < 0,05$ ). O modelo que melhor representou o fenômeno foi selecionado pelo maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e a significância dos parâmetros foi testada pelo teste t ( $P < 0,05$ ).

Com os ajustes dos modelos foi possível dividir o acúmulo de biomassa em três fases (VENEGAS et al., 1998). No ajuste sigmoidal  $y = a/[1 + \exp^{-(x-x_0)/b}]$ , “ $x_0$ ” corresponde ao ponto de inflexão, ou seja, o dia em que ocorre o maior acúmulo; “ $a$ ” é o maior valor de “ $y$ ” alcançado pelo modelo, ou seja, o valor do maior acúmulo. Nesse modelo, as fases de acúmulo podem ser estimadas pelos seus parâmetros, sendo a primeira fase iniciada no plantio até “ $x_0 - 2b$ ”; a terceira fase se inicia em “ $x_0 + 2b$ ”; e a segunda fase corresponde ao período entre a primeira e a terceira fase.

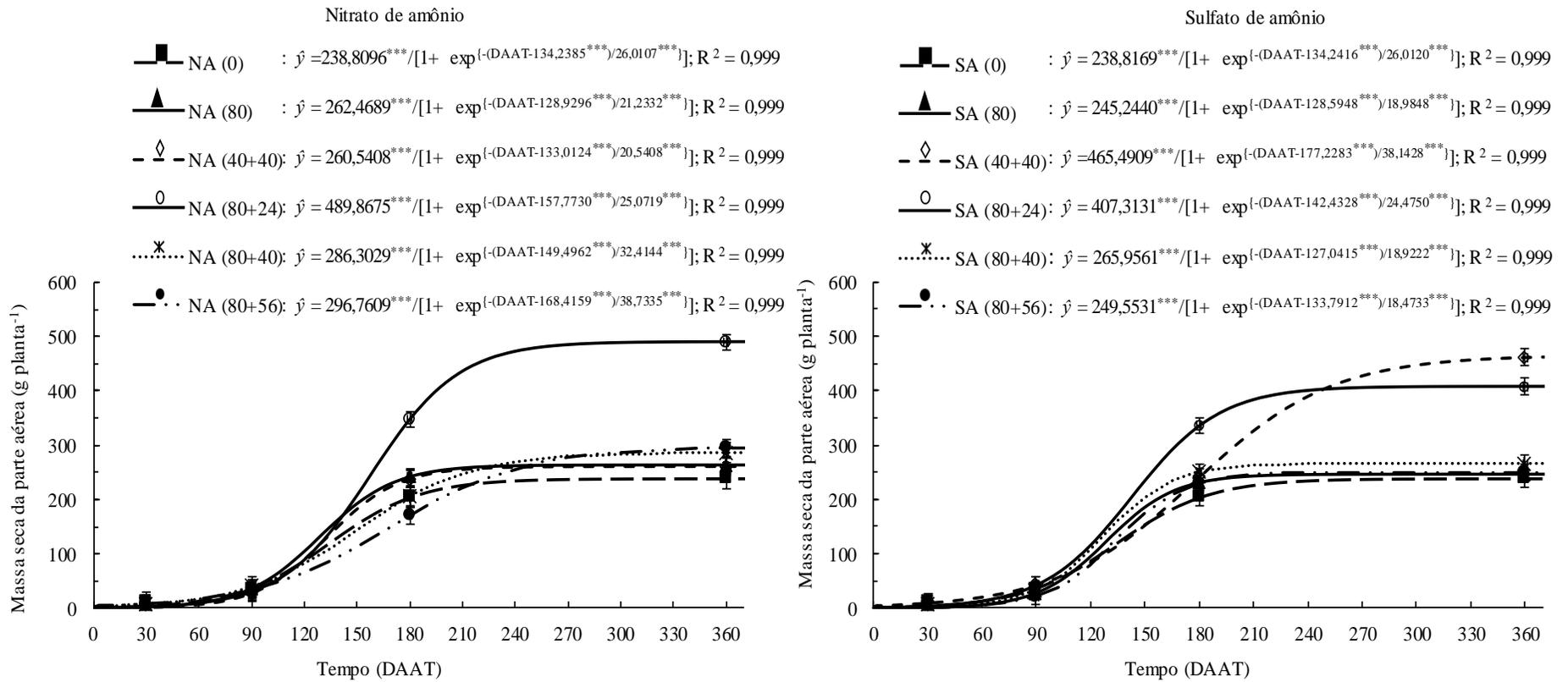
Para os atributos tecnológicos, produtividade agrícola e açucareira os dados foram submetidos à análise de variância e o teste F foi realizado ( $P < 0,05$ ). O teste de Tukey ( $P < 0,05$ ) foi aplicado nas variáveis em que os principais efeitos e / ou interação foram significativos.

## 4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.4.1 Biomassa da parte aérea

A produção de massa seca da planta ( $\text{g planta}^{-1}$ ) durante o crescimento da cana soca apresentou diferença entre os manejos, ajustando-se ao modelo sigmoide (Figura 2). Para a fonte nitrato de amônio (NA) houve um aumento na produção de MSPA das plantas, contudo, até os 90 DAAT não se observou diferenças entre os manejos, enquanto que aos 180 DAAT o manejo com adubação complementar com  $24 \text{ kg ha}^{-1}$  de N obteve maior valor de MSPA ( $\text{g planta}^{-1}$ ) que os demais manejos com valor de  $325,8 \text{ g planta}^{-1}$ . O qual promoveu um incremento de  $122,1 \text{ g planta}^{-1}$  em relação ao controle. Aos 360 DAAT somente a adubação complementar com  $24 \text{ kg ha}^{-1}$  de N apresentou maior produção de MSPA ( $\text{g planta}^{-1}$ ) apresentando um incremento de  $250,9 \text{ g}$  a mais que o manejo controle e  $213,8 \text{ g}$  a mais em relação aos demais manejos.

Para a fonte sulfato de amônio (SA) os manejos apresentaram diferenças somente a partir dos 180 DAAT, tendo o manejo com adubação complementar com  $24 \text{ kg ha}^{-1}$  de N apresentado maior produção de MSPA ( $406,1 \text{ g planta}^{-1}$ ), promovendo um aumento da MSPA de  $168,7 \text{ g}$  a mais que o controle (Figura 2). Aos 360 DAAT o manejo com adubação complementar com  $24 \text{ kg ha}^{-1}$  de N e o parcelamento apresentaram as maiores produções de MSPA em comparação aos demais tratamentos, a apresentando incrementos de  $168,5$  e  $222,9 \text{ g}$  em relação ao controle (Figura 2). Assim, a adubação complementar proporcionou aumento do crescimento partir dos 180 DAAT e apenas o parcelamento, não é suficiente para promover melhor crescimento da cana soca.



**Figura 2.** Massa seca da parte aérea (g planta<sup>-1</sup>) em função de fontes de N e do manejo da adubação nitrogenada ao longo do crescimento da cana soca

A produção de MSPA ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) na fonte NA (Figura 3 A), obteve resultado semelhante a MSPA ( $\text{g planta}^{-1}$ ), ocorrendo aumento ao longo do ciclo da cultura, sendo observado diferença a partir dos 180 DAAT, no qual a adubação complementar com  $24 \text{ kg ha}^{-1}$  de N apresentou a maior produção de biomassa com valor de  $42,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ , em relação aos demais manejos adotados.

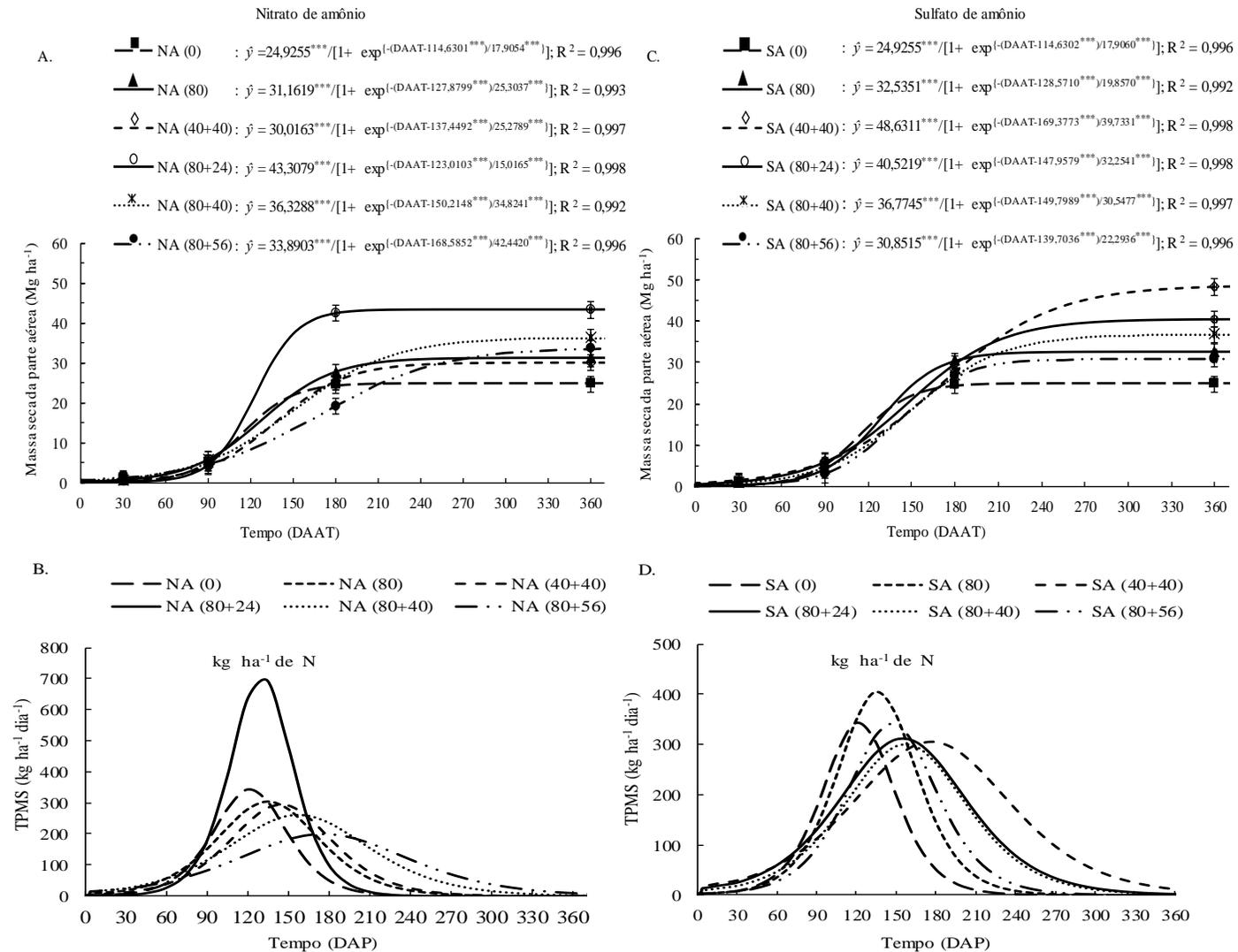
Aos 360 DAAT todos os manejos apresentaram maiores produções de MSPA em relação controle, tendo a adubação complementar com  $24 \text{ ha}^{-1}$  de N apresentado maior produção de MSPA com incremento de  $18,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ .

Para a fonte SA foram observadas diferenças na MSPA ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) somente a partir dos 360 DAAT (Figura 3 C), no qual todos os manejos apresentaram diferenças em relação ao controle, tendo o manejo com parcelamento apresentado o maior valor de  $48,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ , promovendo incrementos de 23,3 em relação ao controle e  $13,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ , em relação aos demais manejos.

As maiores produções de MSPA com aplicação de N também foram relatadas por Bologna-Campbell (2007). Segundo o autor, a variedade de cana SP813250 apresentou resposta linear na produção de matéria seca, quando adubada com N, até a dose de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, o autor observou incremento de 55%. De modo semelhante, Oliveira et al. (2013) observaram variação positiva da MSPA da cultura como resposta ao aumento da dose de N. Os autores cultivaram a variedade SP813250, com doses de até  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de N em três solos, localizados em áreas produtoras de cana-de-açúcar no estado de São Paulo.

Embora não se tenha muitos trabalhos na literatura relacionando a produção de massa seca da parte aérea com o manejo do parcelamento e complementação, pode-se observar nesse trabalho que a adoção desta prática resulta em um maior desenvolvimento da cultura e consequente em maior produtividade.

Na curva de acumulação de matéria seca, a primeira fase de crescimento, na qual são identificados os processos de brotação e perfilhamento intenso, foi caracterizada pela baixa produção de biomassa, em média, 12% da massa total (Figura 3, Tabela 2). Para a fonte NA, esta fase finalizou em média aos 84 DAAT, enquanto que na fonte SA, o acúmulo inicial de massa seca ocorreu em média até os 88 DAAT. A fonte NA, antecipou o início da segunda fase de crescimento em quatro dias, mesmo havendo uma diferença de quatro dias entre o início da segunda fase para a fonte NA a produção de matéria seca teve a mesma média para ambas as fontes.



**Figura 3.** Massa seca da parte aérea (Mg ha<sup>-1</sup>) (A e C) e taxa de acúmulo de matéria seca (kg ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>) (B e D) em função de fontes e manejo da adubação nitrogenada ao longo do crescimento da cana soca

Segundo Jadoski et al. (2011), entre 20 e 30 DAP da cana se inicia a brotação das gemas e emissão dos primórdios radiculares. Nesta fase a planta utiliza-se das reservas de nutrientes do colmo. Posteriormente a este período, de 40 a 120 DAP, acontece a fase de perfilhamento. Desta forma, a maior disponibilidade de N pela adubação, associada a disponibilidade hídrica pela precipitação pluviométrica no período (Figura 1), provavelmente, promoveram maior acúmulo de N pelos perfilhos, levando ao maior acúmulo de matéria seca nesta fase de crescimento.

Na segunda fase de crescimento ocorreram os maiores ganhos de biomassa seca, com acúmulo relativo de 76% do total e prolongou até 6º mês, correspondendo a 192 e 196 DAP, para as fontes NA e SA, respectivamente (Figura 3, Tabela 2), obtendo um acúmulo médio de 25,3 e 27,2 Mg ha<sup>-1</sup> de matéria seca para as fontes NA e SA, respectivamente. Dentre os manejos na fonte NA, o manejo com a dose complementar com 24 ha<sup>-1</sup> de N promoveu maior produção de matéria seca (33 Mg ha<sup>-1</sup>). Por outro lado, para a fonte SA o manejo de parcelamento promoveu maior produção de matéria seca (37 Mg ha<sup>-1</sup>). Esse maior acúmulo de matéria seca na fonte SA em relação a NA, provavelmente, é decorrente ao maior tempo de crescimento da primeira fase.

A adubação nitrogenada promoveu uma produção de matéria seca de 26,6 e 28,8 Mg ha<sup>-1</sup>, correspondendo a um incremento de 7,6 e 9,8 Mg ha<sup>-1</sup> em relação ao controle, para as fontes NA e SA, respectivamente. Enquanto que, a complementação da adubação produziu em média 28,8 e 27,5 Mg ha<sup>-1</sup>, promovendo incremento médio de 9,8 e 8,5 Mg ha<sup>-1</sup>, em relação ao controle, para as fontes NA e SA, respectivamente.

Logo após a estabilização do número de perfilhos, aos 120 DAP, inicia-se a fase de crescimento da parte aérea, na qual ocorrem a formação e alongamento dos colmos, que resulta na produção, perdurando até os 270 DAP (JADOSKI et al., 2011). Contudo, para isso, é necessário o fornecimento de quantidades adequadas dos nutrientes, em especial do N. Deste modo, a aplicação da adubação nitrogenada aumentou a disponibilidade de N no solo, que foi absorvido pela cana-de-açúcar, levando ao incremento da MSPA.

A terceira fase de crescimento apresentou valores de acúmulo de matéria seca próximos aos observados na primeira fase, correspondendo, em média, a 11,6% da biomassa produzida, bem como foi o menor período de produção (Figura 3, Tabela 2). O incremento na MSPA pela aplicação da adubação nitrogenada ocorreu com acúmulo de médio de 4,8 e 4,4 Mg ha<sup>-1</sup>, para as fontes NA e SA, respectivamente.

**Tabela 2.** Período (em DAP), acúmulo relativo e taxa máxima de acúmulo (TMAC) de matéria seca da parte aérea na cana soca

Manejos	1ª fase			2ª fase			3ª fase			TMAC		AT
	período	Mg ha <sup>-1</sup>	%	período	Mg ha <sup>-1</sup>	%	período	Mg ha <sup>-1</sup>	%	dias	kg ha <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	Mg ha <sup>-1</sup>
Nitrato de amônio												
0	0-79	3,0	12,0	80-159	19,0	76,7	160-210	2,8	11,3	120	341,8	24,8
80	0-77	3,7	11,9	78-178	23,7	76,2	179-279	3,7	11,9	135	305,8	31,1
40+40	0-87	3,6	11,9	88-188	22,9	76,2	189-289	3,6	11,9	150	291,8	30,1
80+24	0-93	5,2	11,9	94-153	33,0	76,2	154-207	5,1	11,8	135	691,7	43,3
80+40	0-81	4,3	11,9	82-220	27,7	76,2	221-279	4,3	11,8	150	256,7	36,3
80+56	0-84	4,0	12,0	85-254	25,8	76,8	255-356	3,7	11,1	180	198,7	33,5
Sulfato de amônio												
0	0-79	3,0	12,0	80-151	19,0	76,7	152-210	2,8	11,3	120	341,8	24,8
80	0-89	3,9	11,9	90-168	24,8	76,2	169-240	3,8	11,8	135	404,5	32,5
40+40	0-90	5,8	12,0	91-249	37,0	76,8	250-360	5,4	11,2	180	304,6	48,2
80+24	0-83	4,8	11,9	84-212	30,9	76,2	213-330	4,8	11,8	150	310,5	40,5
80+40	0-89	4,4	11,9	90-211	28,0	76,2	212-330	4,3	11,8	150	295,3	32,8
80+56	0-95	3,7	11,9	96-184	23,5	76,2	185-265	3,7	11,9	150	341,4	30,9

AT: Acúmulo total.

Na última fase de crescimento ocorre a maturação da cana-de-açúcar com a concentração de sacarose, que segundo Santos et al. (2009) ocorre entre 240 e 360 DAP. Desse modo, o período indicado como a fase de maturação por esses autores foi semelhante ao observado neste trabalho.

#### **4.4.2 Monitoramento do crescimento vegetativo da cana-de-açúcar**

A altura e diâmetro de colmo não foram influenciadas pela interação de fontes e manejos de N, sendo observado apenas o efeito isolado do manejo da adubação nitrogenada (Tabela 3). Para as variáveis número de folhas e perfilhamento, não se verificou efeito do manejo da adubação nitrogenada com as fontes testadas.

A adubação complementar com 24, 40 e 56 kg ha<sup>-1</sup> de N promoveram as maiores alturas e diâmetro de colmo com valores médios de 2,8 m e 29,9 cm, respectivamente. Esses maiores valores de altura e diâmetro de colmo, nesses manejos resultaram em uma maior produtividade (Tabela 4) em relação aos demais manejos avaliados. Marcelo (2008), não observou efeito significativo para doses, fontes e interação entre fonte x doses para diâmetro de colmos da cana-de-açúcar.

Alguns trabalhos também demonstram diferenças na altura da cana em função da dose de N aplicada. Cunha et al. (2016), observaram que para altura da planta em relação à fertirrigação com N, a diferença foi significativa apenas entre 270, 300 e 330 DAC, demonstrando incrementos de 5,8, 4,3 e 4,8%, respectivamente.

Enquanto que Oliveira et al. (2016), observaram efeitos significativos do nitrogênio em relação à altura de planta aos 300 e 330 DAP, e obteve 2,84 m e 3,12 m, respectivamente. Estes autores obtiveram valores de altura de planta maior do que o observado neste trabalho, isso é decorrente das perdas ocorridas nesse solo, em função da maior precipitação que ocorreu na fase inicial de monitoramento do crescimento da cultura, associado às características físicas do solo, que apresenta mais 900 g kg<sup>-1</sup> de areia em sua textura, o que proporciona uma maior lixiviação de nutrientes para profundidades abaixo do sistema radicular da cultura, resultando em um menor aproveitamento de N pela cultura.

**Tabela 3.** Avaliações biométricas da cana-de-açúcar aos 360 dias após aplicação dos tratamentos

Manejos	Nº Folha			Altura			Diâmetro			Perfilho		
	NA	SA	Média	NA	SA	Média	NA	SA	Média	NA	SA	Média
kg ha <sup>-1</sup> de N	----- m -----						----- cm -----					
0	3,2	3,2	3,2	2,4	2,4	2,4 c	25,4	25,4	25,4 c	13,0	13,0	13,0
80	2,8	2,7	2,8	2,5	2,6	2,5 b	28,0	28,4	28,0 b	13,2	13,2	13,2
40+40	3,1	3,2	3,2	2,5	2,7	2,6 b	28,8	26,0	27,4 b	12,7	17,0	14,8
80+24	2,9	3,1	3,0	2,7	2,9	2,8 a	29,7	30,4	30,0 a	12,0	11,0	12,0
80+40	3,1	3,0	3,1	2,7	2,8	2,8 a	29,2	29,7	29,4 a	15,2	16,0	16,0
80+56	3,2	3,6	3,4	2,7	2,8	2,8 a	30,2	30,4	30,3 a	13,0	14,2	13,6
F Fonte	0,376 <sup>NS</sup>			1,068 <sup>NS</sup>			0,717 <sup>NS</sup>			1,904 <sup>NS</sup>		
F Manejo	1,017 <sup>NS</sup>			1,434 <sup>*</sup>			1,375 <sup>*</sup>			3,516 <sup>NS</sup>		
F Fonte x Manejo	0,214 <sup>NS</sup>			0,675 <sup>NS</sup>			0,335 <sup>NS</sup>			31,375 <sup>NS</sup>		
C.V	18,96			9,45			17,64			16,10		

Médias seguidas de mesma minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey; <sup>NS,\*\*\*</sup> não significativo, significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente. DAAT: Dias após aplicação dos tratamentos.

#### 4.4.3 Produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar

A produção de MSPA e o TCH não foram influenciados pela interação entre as fontes e manejos de N, sendo observada apenas efeito dos manejos (Tabela 4). Para o TPH, não se verificou efeito da adubação nitrogenada na produtividade de açúcar (Tabela 4).

Houve aumento na produção de MSPA e no TCH independente da fonte de N adotada, no qual se observou a maior produção de MSPA com adubação complementar com 40 kg ha<sup>-1</sup> de N com incrementos de 24,7 t ha<sup>-1</sup> a maior produtividade de colmo (TCH) ocorreu com a adubação complementar e não diferenciou entre as doses, sendo observado ganho médio de 9,9 t ha<sup>-1</sup>.

A produção de biomassa apresentou valor médio de 38,1 t ha<sup>-1</sup> de MSPA, esse resultado se encontra próximo aos valores obtidos por Oliveira (2011), em primeira soca com valor médio de 38,7 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca produzida pela planta toda.

**Tabela 4:** Matéria seca da parte aérea (MSPA), produtividade de colmos (TCH) e tonelada de Pol por hectare (TPH), em relação a adubação nitrogenada com duas fontes diferentes aos 360 DAAT

Manejos kg ha <sup>-1</sup> de N	MSPA			TCH			TPH		
	NA	SA	Média	NA	SA	Média	NA	SA	Média
0	26,3	26,3	26,3 d	67,2	67,2	67,2 c	12,2	12,2	12,2
80	32,3	29,9	31,1 c	70,2	73,7	72,0 b	11,7	12,0	11,8
40+40	31,9	31,7	31,8 c	72,0	75,0	73,0 b	12,7	13,2	12,9
80+24	35,7	37,1	36,4 b	75,7	76,9	76,3 a	13,0	13,7	13,3
80+40	51,6	50,5	51,0 a	76,7	77,5	77,1 a	13,4	13,1	13,2
80+56	40,3	39,6	40,0 b	77,3	78,6	78,0 a	13,9	13,6	13,7
F Fonte	0,066 <sup>NS</sup>			2,457 <sup>NS</sup>			1,497 <sup>NS</sup>		
F Manejo	12,790 <sup>**</sup>			9,511 <sup>**</sup>			3,567 <sup>NS</sup>		
F Fonte x Manejo	6,374 <sup>NS</sup>			0,246 <sup>NS</sup>			0,680 <sup>NS</sup>		
C.V	19,86			5,04			9,23		

<sup>NS</sup> não significativo; \*, \*\* significativo a 5 e 1 % de probabilidade, pelo teste de Tukey. NA: Nitrato de amônio, SA: Sulfato de amônio.

A prática do manejo da adubação nitrogenada promoveu incrementos médios de 12 e 8 ha<sup>-1</sup> de MSPA e TCH, respectivamente, em relação ao controle, que produziu 26 e 67 t ha<sup>-1</sup> (Tabela 4).

As maiores produtividades foram observadas nos manejos em que houve uma complementação da dose de N, proporcionando a planta um maior suprimento de N, associada a complementação da dose temos a contribuição do N proveniente dos resíduos da palhada e da

matéria orgânica do solo para a nutrição nitrogenada das plantas (DOURADO-NETO et al., 2010). Visto que, no final do ciclo agrícola, a quantidade de N do fertilizante representou uma pequena fração do total de N (cerca de 21,2%), corroborando com o fato de que a maior parte do N que proporcionou um melhor desenvolvimento das plantas foi oriundo do solo.

Em um compilado de publicações recentes relacionadas a adubação nitrogenada em cana-de-açúcar (45 publicações), Otto et al. (2016) em um trabalho sobre a eficiência do uso de nitrogênio na produção de cana-de-açúcar e biocombustíveis, constataram que em 76% dos estudos analisados houveram incrementos na produtividade oriundos da adubação nitrogenada, em certos casos com acréscimos superior a 25 % na TCH, comportamento esse atrelado a muitos fatores por exemplo: clima, textura do solo, manejo da adubação e época de corte.

Todavia, os ganhos de produtividade não estão somente atrelados a dose de N e a época de colheita da cana-de-açúcar, há de se considerar também a influência da época de aplicação do fertilizante em soqueira de cana-de-açúcar. A ausência de trabalhos sobre qual a melhor época de se realizar a aplicação do N, faz com que essa seja realizada mais em função da logística operacional (OTTO et al. 2016), contribuindo para que canaviais colhidos no início e meio de safra na região centro sul do Brasil, sejam adubados em período de déficit hídrico e frio.

Avaliando a influência de quatro fontes de N-mineral (cloreto de amônio; nitrato de amônio; sulfato de amônio e uréia) sobre a produtividade de colmos, Vieira et al. (2010), observaram maiores rendimentos para a fonte sulfato de amônio, chegando a produção de aproximadamente 9 t ha<sup>-1</sup> a mais de colmo, contudo, a produtividade obtida nesse estudo não diferiu significativamente da outra fonte estudada.

Esse aumento da produtividade em função da fonte sulfato de amônio se deve a algumas vantagens que essa fonte apresenta em relação ao nitrato de amônio e outras fontes nitrogenadas, como conter enxofre (24% de S), reduzir as perdas por volatilização de NH<sub>3</sub>, além do íon sulfato poder se ligar a outros cátions formando pares iônicos, MgSO<sub>4</sub>, CaSO<sub>4</sub>, entre outros, disponibilizando esses elementos em profundidade, sendo importante para a cana soca, em virtude da não realização da calagem e/ou gessagem (OLIVEIRA et al., 2002).

Os atributos tecnológicos da cana não foram influenciados pela interação entre as fontes e manejos de N, não sendo observado efeito dos manejos nem das fontes (Tabela 5). Com relação aos atributos do caldo, os valores encontrados nesse trabalho para Pol estão próximos ao limite mínimo desejável na ordem de 14,4%, segundo Rodrigues (1995). Enquanto que, os valores médios para °Brix estão foram próximos aos observado por Oliveira et al. (2011).

Segundo os autores, esses valores de sólidos solúveis na RB867515 e na RB92579 foram, em média, de 21,3%.

Para os atributos do colmo, observa-se que, os teores de fibra foram superiores ao limite máximo da faixa de 10,5 e 12,5% indicado por Oliveira et al. (2009). Contudo, se manteve entre os valores sugerido por Leite et al. (2009) o qual a quantidade ideal de fibra é variável entre 12% e 13%, e não compromete a quantidade disponível de bagaço para queima no início da safra. Os altos teores de fibra dificultam a extração de caldo nas moendas, reduzindo sua eficiência (MARQUES et al., 2008), além de possuir uma relação negativa com o teor de açúcar (BARBOSA et al., 2007).

Os valores de ATR encontrados neste estudo foram superiores aos encontrados por Oliveira et al. (2011). De acordo com os autores, a RB92579 apresentou valores de ATR de 147 kg Mg<sup>-1</sup>. Contudo, observa-se que a adubação nitrogenada reduziu os atributos do colmo.

**Tabela 5.** Atributos tecnológicos da cana-de-açúcar, em relação a adubação nitrogenada com duas fontes diferentes, aos 360 DAAT

Manejos	<i>Atributos do Caldo</i>				<i>Atributos do colmo</i>					
	POL		°Brix		Teor de Fibra		Sacarose do colmo		ATR	
	NA	SA	NA	SA	NA	SA	NA	SA	NA	AS
kg ha <sup>-1</sup> de N	----- % -----				----- kg ton <sup>-1</sup> -----					
0	14,9	14,9	23,17	23,17	12,38	12,38	18,10	18,10	170,56	170,56
80	15,5	15,0	22,62	21,90	12,54	14,16	16,69	16,34	157,80	154,82
40+40	14,6	14,9	22,17	22,90	12,41	12,29	17,61	17,55	166,74	166,35
80+24	16,3	15,7	22,47	23,12	12,01	13,11	17,23	17,89	162,76	168,61
80+40	15,6	15,1	23,40	22,75	12,38	13,75	17,43	16,90	165,66	160,49
80+56	15,7	16,2	23,00	22,77	12,34	12,51	17,95	17,36	169,23	164,66
MEDIA	15,4	15,3	22,8	22,8	12,68	13,03	17,50	17,36	165,46	164,25
F Fonte	0,020 <sup>NS</sup>		0,009 <sup>NS</sup>		1,407 <sup>NS</sup>		0,157 <sup>NS</sup>		0,122 <sup>NS</sup>	
F Manejo	0,972 <sup>NS</sup>		0,501 <sup>NS</sup>		2,144 <sup>NS</sup>		1,414 <sup>NS</sup>		1,303 <sup>NS</sup>	
F Fonte x Manejo	0,255 <sup>NS</sup>		0,418 <sup>NS</sup>		0,762 <sup>NS</sup>		0,262 <sup>NS</sup>		0,229 <sup>NS</sup>	
C.V	7,37		5,98		8,09		7,35		7,25	

<sup>NS</sup> não significativo; \*, \*\* significativo a 5 % de probabilidade, pelo teste de Tukey. FNR: Fosfato natural reativo, ST: Superfosfato triplo e TF: Torta de filtro. POL: porcentagem de sacarose aparente no caldo; °Brix: Sólidos solúveis totais; PC: Sacarose no colmo; ATR: Açúcar teórico recuperável.

## 4.5 CONCLUSÕES

A prática do manejo da adubação nitrogenada promoveu incrementos de MSPA e TCH independente da fonte adotada. No qual, os manejos com complementação da dose obtiveram as maiores produções de MSPA e TCH.

As fontes de N não apresentaram diferença na produção de biomassa e nos atributos de produtividade da cana planta, o que possibilita a utilização das duas fontes no manejo da adubação nitrogenada.

As fontes e manejos não apresentaram efeitos sobre os atributos tecnológicos.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. S. Agricultura tropical: quatro anos décadas de inovação tecnológica, institucionais e políticas. Brasília: Embrapa **Informações Tecnológica**, v. 1: produção e produtividade agrícola. 1336 p, 2008.

AMBROSANO, E. J.; CANTARELLA, H.; ROSSI, F.; SCHAMMASS, E. A.; SILVA, E. C.; AMBROSANO, G. M.B.; DIAS, F. L. F.; TRIVELIN, P. C. O.; MURAOKA, T. Desempenho de adubos verdes e da primeira soqueira de cana-de-açúcar cultivados consorciadamente. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Rio de Janeiro, v. 8, p. 80-90, 2013.

BARBOSA, M. H. P.; SILVEIRA, L. C. I.; MACÊDO, G. A. R.; PAES, J. M. L. Variedades melhoradas de cana-de-açúcar para Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 28, n. 239, p. 20-24, 2007.

BOLOGNA-CAMPBELL, I. **Balço de nitrogênio e enxofre no sistema solo-cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta**. 2007. 112p. Tese de Doutorado (Doutorado em Solos e nutrição de plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007.

CARVALHO, C. M.; AZEVEDO, H. M.; DANTAS NETO, J.; MELO, E. P.; SILVA, C. T. S.; GOMES FILHO, R. R. Resposta dos parâmetros tecnológicos da terceira folha da cana-de-açúcar a diferentes níveis de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 3, n. 4, p. 337-342, 2008.

CARVALHO, J. L. N.; NOGUEIROL, R. C.; MENANDRO, L. M. S.; RO BORDONAL, R. O.; BORGES, C. D.; CANTARELLA, H.; FRANCO, H. C. J. implicações agrônômicas e ambientais da remoção da palha de cana-de-açúcar: uma revisão importante. **Global Change Biology Bioenergy**, Hoboken, v. 9, p. 1181 – 1195, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/gcbb.12410>>.

CHAPOLA, R. G.; HOFFMANN, H. P.; BASSINELLO, A. L.; FERNANDES JUNIOR, A. R. **Censo Varietal 2012**. Araras: CCA-UFSCar, p. 55. 2012.

COLETI, J. T.; CASAGRANDE, J. C.; STUPIELLO, J. P.; RIBEIRO, L. D.; OLIVEIRA, G. R. de. Remoção de macronutrientes pela cana-planta e cana-soca, em Argissolos, variedades RB835486 e SP813250. **STAB**, Açúcar, Álcool & Subprodutos, Piracicaba, v. 24, n. 5, p. 32-36, 2006.

COSTA, M. C. G.; VITTI, G. C.; CANTARELLA, H. Volatilização de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 631-637, 2003.

COSTA, D. B.; AZEVEDO, C. A. V.; NETO, J. D.; FARIAS, C. H. A. Rendimento da cana-de-açúcar irrigada nos tabuleiros costeiros da Paraíba sob aplicações parceladas de diferentes adubos. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, São Cristovão, v. 9, n. 2, p. 431-441, 2009.

CUNHA, F. N.; SILVA, N. F.; SOUSA, A. E. C.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L.; VIDAL, V. M. Yield of sugarcane submitted to nitrogen fertilization and water depths by subsurface drip irrigation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 9, p. 841-846, 2016.

DOURADO-NETO, D.; POWLSON, D.; ABU BAKAR, R., BACCHI, O. O. S.; BASANTA, M.V.; THI CONG, P.; KEERTHISINGHE, G.; ISMAILI, M.; RAHMAN, S. M.; REICHARDT, K., SAFWAT, M. S. A.; SANGAKKARA, R.; TIMM, L. C.; WANG, J. Y.; ZAGAL, E.; VAN KESSEL, C. Multiseason recoveries of organic and inorganic nitrogen-15 in tropical cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 74, p. 139-152, 2010.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro. Centro Nacional de Pesquisa de Solo, p. 212, 1997.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes** / editor técnico, Fábio Cesar da Silva. 2 ed. Rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p. 627, 2009.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos** / Humberto Gonçalves dos Santos... [et al.]. 3 ed. Rev. Ampl. Brasília, DF: Embrapa, 353 p. 2013.

ERNANI, P. R.; SANGOI, L.; RAMPAZZO, C. Influência do método de aplicação da uréia e dos restos culturais de aveia preta na lixiviação de nitrogênio e no rendimento de matéria seca do milho. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 738-748, 2002.

FERNANDES, F. C. S. & LIBARDI, P. L. Drenagem interna e lixiviação de nitrato em um Latossolo sob sucessão milho-braquiária-milho, com diferentes doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 1163-1173, 2009.

FRIES, M. R. Microbiologia e matéria orgânica: recuperação pelo sistema plantio direto. In: FRIES, M. R.; DALMOLIN, R.S.D. (Coord.). **Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto**. Santa Maria: Pallotti, Cap. 3, p. 47-75, 1997.

GEE, G.W.; OR, D. Particle-size analysis. In: DANE, J.H.; TOPP, G.C., eds. Methods of soil analysis. Physical methods. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, Part 4. p. 255-293, 2002.

JADOSKI, C. J.; TOPPA, E. V. B.; JULIANETTI, A.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D. Fisiologia do desenvolvimento do estágio vegetativo da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v. 3, n. 2, p. 169–176, 2011.

LEITE, G. H. P.; CRUSCIOL, C. A. C. SILVA, M. A.; VENTURINI FILHO, W. G. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar em função da aplicação de maturadores em meio de safra. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 2, p. 527-534, 2009.

LIMA NETO, J. F.; FILHO, J. A. D.; SIMÕES NETO, D. E.; SILVA, A. E. P.; SILVA, L. J.; FERREIRA, G. E. Avaliação agroindustrial e parâmetros genéticos de clones UFRPE de cana-de-açúcar no litoral norte de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, Recife, v. 18, n. 1, p. 8–13, 2013.

MARCELO, D. N. **Efeitos de fontes e doses de nitrogênio em soqueira de cana-de-açúcar, cultivar SP79-1011**. 2008. 44 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

MARQUES, M. O.; MACIEL, B. F.; FIGUEIREDO, I. C.; MARQUES, T. A. Considerações sobre a qualidade da matéria-prima. In: MARQUES, M. O.; MUTTON, M. A.; NOGUEIRA; T. A. R., TASSO JÚNIOR, L. C.; NOGUEIRA, G. A.; BERNARDI, J. H. **Tecnologias na agroindústria canvieira**. Jaboticabal: FUNEP, p. 9-16, 2008.

OLIVEIRA, E. L. DE.; ANDRADE, L. A. B., FARIA, M. A., EVANGELISTA, A. D. W. P.; MORAIS, A. R. Uso de vinhaça de alambique e nitrogênio em cana-de-açúcar irrigada e não irrigada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 11, p. 1398-1403, 2009.

OLIVEIRA, E. C. A.; OLIVEIRA, R. I.; ANDRADE, M. T.; FREIRE, J. F.; JÚNIOR, M. A. L.; MACHADO, P. R. Crescimento e acúmulo de matéria seca em variedades de cana-de-açúcar cultivada sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 9, p. 951-960, 2010.

OLIVEIRA, E. C. A. **Balço nutricional da cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada**. 2011. 213 p. Tese de Doutorado (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

OLIVEIRA, G. E.; MARIANO, E., SOARES, F. A. L.; SILVA, M. A. Physiological quality and amylase enzyme expression in maize seeds. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 37, p. 40-48, 2013.

OLIVEIRA, R. C.; SILVA, N. F.; CUNHA, F. N.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L.; CAMPOS, M. D. Effect of water replacement and nitrogen fertilization on productivity variables of sugar cane. **African Journal of Agricultural Research**, Nairobi, v.11, n.8, p. 633-643, 2016.

OTTO, R.; CASTRO, S. A. Q.; MARIANO, E.; CASTRO, S. G. Q.; FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O. Nitrogen use efficiency for sugarcane-biofuel production: what is the next? **Bioenergy Research**, New York, v. 9, p. 1272-1289, 2016.

RAIJ, B. VAN.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H. QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, p. 285, 2001.

RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: Instituto de Biociências. p. 69, 1995.

SANGOI, L.; ERNANI, P. R.; LECH, V. A.; RAMPAZZO, C. Lixiviação de nitrogênio afetada pela forma de aplicação da uréia e manejo dos restos culturais de aveia em dois solos com texturas contrastantes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 1, p. 65-70, 2003.

SANTOS, V. R.; MOURRA FILHA, G.; ALBUQUERQUE, A. W. de.; COSTA, J. P. V. da. SANTOS, C. G. dos.; SANTOS, A. C. I. dos. Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 389-396, 2009.

TRIVELIN, P. C. O.; BENDASSOLLI, J. A.; OLIVEIRA, M. W. **Potencialidade da mistura de aquamônia com vinhaça na fertilização de canaviais colhidos sem despalha a fogo**. Parte I: Estabilidade química da mistura. STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos, Piracicaba, v. 16, n. 2, p. 26-29, 1997.

VENEGAS, J. G.; HARRIS, R. S.; SIMON, B. A. A comprehensive equation for the pulmonary pressure-volume curve. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 84, p. 389-395, 1998.

VIEIRA, M. X. **Eficiência da adubação de soqueira de cana de açúcar com cloreto de amônio**. 2009. 135 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, SP, 2009.

VIEIRA, T. R. de L.; CUNHA, M. G. G.; GARRUTTI, D. S.; DUARTE, T. F.; FELEX, S. S. S.; PEREIRA FILHO, J. M. MADRUGA, M. S. Physical and sensorial properties of Santa Ines lamb meat terminated in diets with increasing levels of whole cotton seed (*Gossypium hirsutum*). **Ciencia Tecnologia Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 2, p. 372-377, 2010.

VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O.; GAVA, G. J. C.; FRANCO, H. C. J.; BOLONGNA, I. R.; FARONI, C. E. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada a localização de adubos nitrogenados aplicados sobre resíduos culturais em canavial sem queima. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 491-498, 2007.



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta de estudar a eficiência do manejo da adubação nitrogenada na cana soca em solo arenosos, principalmente quanto a lixiviação do N, surgiu a partir da necessidade do setor sucroalcooleiro e também em virtude da escassez de informações referente a este tipo de solo. Embora existam registros de trabalhos na literatura sobre lixiviação de nitrato em solos mais argilosos, estudo como este, voltado para solo de textura arenosa, são fundamentais para verificar a dinâmica e disponibilidade de N nesse sistema.

Os resultados deste trabalho representam o primeiro passo para a elucidação da dinâmica da lixiviação de N em solo arenoso: primeiro por mostrar a disponibilidade de N no solo e solução do solo e, posteriormente, por discutir aspectos acerca da disponibilidade e lixiviação de nitrato no solo, evidenciando a capacidade de solo em influenciar tanto a disponibilidade quanto o processo de lixiviação. Entretanto, alterações ocasionadas nas condições físicas e químicas do sistema pode fazer com que mais N seja perdido no sistema do que aproveitado pelas culturas, elevando sobretudo, o risco de poluição tanto dos recursos hídricos quanto do meio ambiente. As alterações podem ser causadas tanto por processos naturais quanto por atividade antrópica, como o emprego de fontes de N mais susceptíveis a perdas, sobretudo lixiviação, adoção de manejo do solo que resulte em erosão do solo. Por isso, estudos de cunho mais refinado são necessários para elucidar a dinâmica de N em solo arenoso.

Embora se tenha informações quanto as concentrações de N na solução do solo e lixiviado indicando perdas de N no solo e o potencial risco de contaminação dos recursos hídricos e meio ambiente, aspectos relacionados ao desenvolvimento de estratégias de manejo associadas à sustentabilidade com risco mínimo ao meio ambiente e à vida humana e animal, com redução da taxa de aplicação, otimização do aproveitamento pelos vegetais e desaceleração da mobilização do nitrato no solo, acompanhados de práticas de manejo mais tecnificadas e menos impactantes, deverão auxiliar em avaliações mais adequadas quanto ao risco de perda de N no sistema.