

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA**

**LEONARDO RÉGIS PEREIRA**

**Dinâmica do nitrogênio amídico ( $^{15}\text{N}$ -uréia) ou amoniacal ( $^{15}\text{N}$ -aquamônia) no solo aplicado conjuntamente com o co-produto da produção do ácido glutâmico (Ajifer)**

Orientador: Prof. Dr. Paulo C. O. Trivelin

**PIRACICABA**

**2008**

**LEONARDO RÉGIS PEREIRA**

**Engenheiro Agrônomo**

**Dinâmica do nitrogênio amídico ( $^{15}\text{N}$ -uréia) ou amoniacal ( $^{15}\text{N}$ -aquamônia) no solo aplicado conjuntamente com o co-produto da produção do ácido glutâmico (Ajifer)**

Dissertação apresentada ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Energia Nuclear na Agricultura.  
Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Ocheuze Trivelin

**PIRACICABA**

**2008**

AUTORIZO A DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES TRABALHOS, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
**Seção Técnica de Biblioteca - CENA/USP**

Pereira, Leonardo Régis

Dinâmica do nitrogênio amídico ( $^{15}\text{N}$ -uréia) e amoniacal ( $^{15}\text{N}$ -aquamônia) no solo aplicado conjuntamente com o co-produto do ácido glutâmico (Ajifer) / Leonardo Régis Pereira; orientador Paulo Cesar Ocheuze Trivelin. - - Piracicaba, 2008.

76 p.: fig.

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de concentração: Energia Nuclear na Agricultura) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo.

1. Cana-de-açúcar 2. Isótopos estáveis 3. Nitrogênio 4. Nutrientes minerais do solo 5. Solos I. Título

CDU 633.61:631.84

Aos meus pais, Regina e Rubens,  
Pelo exemplo de vida, fé, amor e dedicação na minha educação.

Aos meus irmãos Rubinho e Gabriel,  
Pela amizade, companheirismo e força.

### **OFEREÇO.**

A minha esposa Ana Paula,  
Pela fidelidade, amizade, carinho e antes de tudo o AMOR,

Ao meu filho Breno,  
A nossa maior riqueza, a nossa vida, o nosso sonho.

### **DEDICO.**

E agradecimento especial ao Rafael T. Schiavuzzo (in memoriam),  
Pela imensa contribuição na montagem e conclusão deste trabalho.

### **HOMENAGEIO.**

## AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Paulo Cesar Ocheuze Trivelin pela excelente orientação, cobrança, apoio, incentivo, participação ativa e amizade.

Ao professor Dr. Albertino Bendassoli, pelos ensinamentos, amizade, alto astral e apoio.

Ao grande pesquisador Dr. Andre C. Vitti, colaborador ativo no desenvolvimento do experimento, na condução e execução.

Ao amigo, grande conselheiro, pesquisador Dr. Cesar de Castro, Embrapa Soja, pelos incentivos aos estudos e pesquisas.

Aos pesquisadores Dr. Adilson de Oliveira Junior e Dr. Fabio Álvares, pelo auxílio na tabulação dos dados e nas análises estatísticas.

A grande estagiária Carolina, pela grande ajuda na preparação das amostras.

Ao Conselho de Pós-Graduação do Centro de Energia Nuclear na Agricultura pela oportunidade do estudo.

Ao Laboratório de Isótopos Estáveis do CENA/USP, pela ajuda constante na elaboração das amostras e das análises.

A AJINOMOTO BIOLATINA IND. E COM. LTDA., pelo incentivo e oportunidade.

Ao APTA/Pólo regional Centro Sul de Piracicaba pela concessão da área do experimento.

**A TODOS MUITO OBRIGADO,**

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS .....	v
LISTA DE TABELAS .....	vi
RESUMO .....	viii
ABSTRACT.....	x
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	6
2.1 Desenvolvimento e fabricação de fertilizantes líquidos.....	6
2.2 Aplicação de fertilizantes líquidos na cultura canavieira.....	7
2.3 Importância da adubação nitrogenada na cultura canavieira.....	9
2.4 Adubação de soqueira sobre a palha.....	10
2.5 Métodos para avaliação das perdas de nitrogênio em fertilizantes fluídos e recuperação pelo solo quando aplicado com o isotópico <sup>15</sup> N.....	12
2.6 Utilização do traçador isotópico 15N no estudo da dinâmica da adubação nitrogenada.....	13
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1 Fase laboratorial.....	15
3.1.1 Local da fase laboratorial: descrição das formulações, metodologia empregada para estabelecer as misturas e seleção.....	15
3.2 Fase campo.....	23

3.2.1	Localização da área experimental, tipo de solo, manejo e época da amostragem.....	23
3.2.2	Delineamento e parcelas experimentais.....	25
3.2.3	Preparação das parcelas e aplicação dos fertilizantes líquidos.....	29
3.2.4	Avaliação do nitrogênio nas amostras de palha.....	30
3.2.5	Avaliação do nitrogênio nas amostras de solo.....	32
3.2.6	Análise dos dados de N.....	33
4	RESULTADO E DISCUSSÃO.....	35
4.1	Fase Laboratorial na definição das misturas a serem aplicadas em campo.....	35
4.1.1	Definição das misturas fluidas e sólidas.....	36
4.1.1.1	Misturas contendo Ajifer + Uréia + KCl.....	36
4.1.1.2	Misturas contendo Ajifer + Aquamônia + KCl.....	37
4.1.1.3	Misturas contendo Ajifer + Uréia + Vinhaça Concentrada.....	39
4.1.1.4	Misturas contendo Uréia + KCl.....	41
4.1.2	Avaliação da estabilidade do N nas misturas fluidas.....	43
4.2	Experimento Campo.....	46
5	CONCLUSÃO.....	54
6	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	55

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 3.2.1.1. Dados climáticos da área experimental durante o mês de outubro de 2007 (DAÍ 0 e DAÍ 20).....	25
Figura 3.2.2.1. Esquema da parcela com tubo de confinamento onde foi aplicado o fertilizante marcado, contudo, o tubo de confinamento poderá ter no seu interior palhada ou não de cobertura.....	27
Figura 3.2.2.2. Esquema da área experimental com 40 parcelas numeradas, sendo que, as parcelas destacadas são aquelas que receberam aplicação do fertilizante sobre a palhada da cana-de-açúcar e as não destacadas são aquelas que receberam o fertilizante sobre solo sem cobertura (solo).....	28
Figura 3.2.3.1. Vista da parcela com a palhada de cobertura, com tela de proteção para retenção da palha.....	30
Figura 3.2.4.1. Espectrômetro de massa ANCA SL utilizado nas avaliações de N% e <sup>15</sup> N.....	31
Figura 3.2.5.1. Vista geral das amostras no experimento no DAÍ 20, finalização do experimento.....	32
Figura 4.2.2. Valores médios solo com cobertura da % Nitrogênio recuperado (R) total no solo com palhada.....	48
Figura 4.2.4. Valores médios solo sem cobertura da % Nitrogênio recuperado (R) total no Solo sem palhada.....	52

## LISTA DE TABELAS

		Página
Tabela 3.1.1.1	Descrição das formulações das quatro misturas testadas em laboratório com Ajifer, uréia, KCl e água.....	17
Tabela 3.1.1.2	Descrição das formulações das quatro misturas desenvolvidas em laboratório com Ajifer, aquamônia, KCl e água.....	18
Tabela 3.1.1.3	Descrição das formulações das quatro misturas desenvolvidas em laboratório com Ajifer, uréia e vinhaça concentrada.....	19
Tabela 3.1.1.4	Caracterização química da vinhaça concentrada proveniente da Usina Santa Elisa – SP.....	22
Tabela 3.1.1.5	Caracterização do Ajifer proveniente da Ajinomoto Biolatina de Laranjal Paulista-SP.....	22
Tabela 4.1.1	Parâmetros avaliados conforme Instrução Normativa nº 5 do MAPA sobre a classificação da estabilidade física dos fertilizantes fluídos.....	35
Tabela 4.1.1.1.1	Balaço primário das matérias-primas utilizadas na preparação da mistura Ajifer+Uréia+KCl.....	36
Tabela 4.1.1.1.2	Quantidades das matérias-primas utilizadas na preparação da mistura Ajifer+Uréia+KCl.....	37
Tabela 4.1.1.2.1	Balaço primário das matérias-primas utilizadas na preparação da mistura Ajifer+Aquamônia+KCl.....	38
Tabela 4.1.1.2.2	Quantidades das matérias-primas utilizadas na preparação da mistura Ajifer+Aquamônia+KCl.....	38
Tabela 4.1.1.3.1	Balaço primário das matérias-primas utilizadas na preparação da mistura Ajifer + Uréia + Vinhaça Concentrada.....	39

Tabela 4.1.1.3.2	Quantidades das matérias-primas utilizadas na preparação da mistura Ajifer+Uréia+Vinhaça Concentrada.....	40
Tabela 4.1.1.4.1	Balanço primário das matérias-primas utilizadas na preparação da mistura Uréia + KCl.....	41
Tabela 4.1.1.4.2	Quantidades das matérias-primas utilizadas na preparação da mistura Uréia+KCl.....	42
Tabela 4.1.2.1	Teor médio de nitrogênio total no produto nos períodos de, 0 hora, 72 horas e 120 horas após as misturas.....	43
Tabela 4.1.2.2	Valor médio de pH das misturas nos períodos de 0 hora, 72 horas e 120 horas após as misturas.....	45
Tabela 4.2.1	Valores médios de % Nitrogênio recuperado (R), nas profundidades 0-10 cm, 10-20 cm e na palha e % R total no solo com palhada.....	46
Tabela 4.2.3	Valores médios de % Nitrogênio recuperado (R) no solo sem palhada, nas profundidades 0-10 cm e 10-20 cm e % R total no solo sem palhada.....	50
Tabela 4.2.5	% Nitrogênio recuperado (R) total entre as diferentes fontes com palhada e sem palhada na cobertura do solo.....	52

## RESUMO

PEREIRA, L.R. **Dinâmica do nitrogênio amídico ( $^{15}\text{N}$ -uréia) ou amoniacal ( $^{15}\text{N}$ -aquamônia) no solo aplicado conjuntamente com o co-produto da produção do ácido glutâmico (Ajifer).** 2008. 61f. Dissertação (Mestrado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, 2008.

Com objetivo de estudar o efeito da adubação nitrogenada líquida aplicada sobre a palha em solo cultivado com cana-de-açúcar utilizando o co-produto da fabricação do ácido glutâmico (Ajifer), foi implantado um experimento em tubos de PVC de 100 mm no sistema confinado, simulando área com colheita mecanizada de cana-crua e área com colheita com despalha à fogo na fazenda experimental da Apta, Pólo Regional Centro – Sul, em Piracicaba, SP. O fertilizante organomineral: Ajifer foi utilizado como veículo para as fontes uréia (N-amídico) ou aquamônia (N-amoniacal) marcadas com  $^{15}\text{N}$ . Este experimento contou com, (i) fase laboratorial, desenvolvimento de formulações dos fertilizantes líquidos, utilizando o co-produto da fabricação do ácido glutâmico (Ajifer) e água como veículo (solvente), e uma das fontes de N: uréia ou aquamônia (soluto), e (ii) fase de aplicação das formulações em campo, em experimento com cinco tratamentos subdivididos em: aplicação do fertilizante sobre a palhada e aplicação sobre o solo, sendo que, cada tratamento foi implantado na forma confinada, com tubos de 250 mm de comprimento com 100 mm de diâmetro e composto com quatro repetições: (T1) testemunha sem adubação; (T2) Uréia (marcado com  $^{15}\text{N}$ ) + KCl; (T3) Ajifer + Uréia (marcado com  $^{15}\text{N}$ ) + KCl; (T4) Ajifer + Aquamônia (marcado com  $^{15}\text{N}$ ) + KCl; (T5) Ajifer

+ Uréia (marcado com  $^{15}\text{N}$ ) + Vinhaça Concentrada. As quantidades de nitrogênio foram corrigidas para que não ocorresse diferença entre os tratamentos. Este trabalho permitiu concluir que: a formulação de fertilizantes líquidos utilizando o Ajifer *in natura* na mistura com as fontes de nitrogênio amídico (Uréia) ou amoniacal (Aquamônia) é viável e apresenta estabilidade física e química, não ocorrendo perda de nitrogênio até 120 horas após a mistura, e que a formulação contendo Ajifer + Uréia + KCl aplicada sobre a palhada da cana-de-açúcar, apresentou a maior recuperação de nitrogênio total, e isto deveu-se a grande capacidade da palhada da cana-de-açúcar de reter  $\text{NH}_4^+$  de fonte amídica .

Palavras chave: cana-de-açúcar, isótopos estáveis, nitrogênio, nutrientes minerais do solo, solos

## ABSTRACT

PEREIRA, L.R. **Dynamics of the nitrogen amidic ( $^{15}\text{N}$ -Urea) or ammoniacal ( $^{15}\text{N}$ -aquamônia) in the applied soil jointly with the co-product of the production of the glutamic acid (Ajifer). 2008. 61f. Dissertation (Master's degree) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, 2008.**

With objective of studying the effect of the nitrogen liquid fertilizer applied on the straw in the soil cultivated with sugarcane using the co-product of the production of the glutamic acid (Ajifer), an experiment will be implanted in tubes of pvc of 100mm in the confined system, simulating area with automated crop of cane-raw and area with crop with straw to fire in the experimental farm of APTA/ Center South Regional Pole using the fertilizer organomineral, co-product of the production of the glutamic acid (Ajifer), as vehicle for the sources urea (N-amidic) and aquamônia (N - ammoniacal) labeled with  $^{15}\text{N}$ . The experiment will count with, (i) laboratorial phase, development of formulations of liquid fertilizers, using the co-product of the production of the glutamic acid (Ajifer) and water as vehicle (solvent), and two sources of nitrogen (solute), and (ii) field phase of application of the formulations in field, and it is phase will count with five treatments subdivided in: application of the fertilizer on the straw and applied on the soil, and, each treatment will be implanted in the confined form, with tubes of 250 length mm with 100 diameter mm and composed with four repetitions: (T1) without fertilizer, (T2) co-product of the production of the glutamic acid (Ajifer) + urea (labeled with  $^{15}\text{N}$ ) + KCl; (T3) co-

product of the production of the glutamic acid (Ajifer) + aquamônia (labeled with  $^{15}\text{N}$ ) + KCl; (T4) co-product of the production of the glutamic acid (Ajifer) + urea (marked with  $^{15}\text{N}$ ) + concentrated vinhaça. The amounts of nitrogen were corrected so that it didn't happen difference among the treatments. This work allowed to end that: the formulation of liquid fertilizers using *Ajifer in nature* in the mixture with the sources of nitrogen amidic (Urea) or ammoniacal (Aquamônia) it is viable and it presents physical and chemical stability, not happening loss of nitrogen up to 120 hours after the mixture, and that the formulation containing Ajifer + Urea + applied KCl on the on the straw of the sugarcane, presented the largest recovery of total nitrogen, and this if the great capacity of the straw of the sugarcane to keep  $\text{NH}_4^+$  of source amidic.

Keywords: nitrogen fertilization, sugarcane, stable isotope, mineral nutrients, soil.

## 1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar atualmente plantada no país (*Saccharum* spp) pertence à família *Poaceae* e é considerada originária do sudeste asiático, na grande região da Nova Guiné e Indonésia (DANIELS & ROACH, 1987), tratando-se, pois, de planta alógama, pertence à divisão *Magnoliophyta*, classe *Liliopsida*, sub-classe *Commelinidae*, ordem *Cyperales*, família *Poaceae*, tribo *Andropogonae* e sub tribo *Saccharininae*, Castro & Kluge (2001).

Inicialmente cultivava-se principalmente a espécie *Saccharum officinarum* (L.), entretanto, os cultivares desta espécie passaram a sofrer dificuldades de adaptação ecológica e severos danos provocados por doenças. Híbridos interespecíficos, oriundos dos programas de melhoramento genético, resistentes e melhores adaptados para diversas condições ambientais, permitiram a expansão da cultura pelo mundo (FIGUEIREDO, LANDELL & CAMPANA, 1995; MATSUOKA, GARCIA & ARIZONO, 1999).

A cana-de-açúcar é cultivada numa ampla faixa de latitude, desde 35°N a 30°S, e em altitudes que variam do nível do mar a 1.000 m de altitude (MAGALHÃES, 1987).

No final do século XX, o Brasil tornou-se o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, açúcar e álcool (BASALDI, FARIA & NOVAES, 1996). Essa liderança foi alcançada especialmente em função da criação do Proálcool em 1975, um programa governamental de incentivo à produção de álcool combustível (LEITE, 1987).

Segundo a Companhia Nacional de abastecimento (CONAB, 2006) o Brasil possui cerca de seis milhões de hectares cultivados com cana-de-açúcar, destacando-se no cenário mundial. A produção brasileira de cana-de-açúcar na safra 2006/07, em

levantamento realizado no mês de novembro/2006, foi estimada em 475,73 milhões de toneladas, superior em 10,3% quando comparada à safra anterior, que foi de 431,41 milhões de toneladas. Em relação ao levantamento anterior, realizado em agosto, houve um crescimento de 1,0% ou 4,56 milhões de toneladas, motivado por ajustes na área plantada e na produtividade. Do total produzido, 242,16 milhões de toneladas (50,9%) destinam-se à fabricação de açúcar, 183,82 milhões (38,6%) à produção de álcool e o restante, 49,74 milhões (10,5%), à fabricação de cachaça, alimentação animal, sementes, fabricação de rapadura, açúcar mascavo e outros fins (CONAB, 2006).

Atualmente a cana-de-açúcar é uma das principais culturas agrícolas do país, servindo como matéria prima para produção de açúcar, álcool e alimentação animal. O crescimento, entretanto, não tem sido uniforme. Em 2004 o setor expandiu a produção à taxa de 5,5% e em 2005, em 0,4%. No ano de 2006/07, o aumento da oferta voltou a crescer bastante, atingindo 13,5% (PROCANA, 2007).

Somente na macrorregião de Piracicaba, que compreende 33 municípios e reúne 4.500 canavieiros, 39% dos produtores de São Paulo, 300 mil hectares são plantados atualmente. Nesta região foram colhidas 24 milhões de toneladas de cana na safra 2003/04, 7% mais do que a safra passada, o que equivale a 14 % da produção do Estado (APTA, 2006).

O setor sucro-alcooleiro apresenta grande crescimento, consequência da boa rentabilidade nos dois anos precedentes, o que estimulou a expansão dos canaviais nas usinas existentes e a implantação de novas unidades nos estados de São Paulo e Minas Gerais (FNP, 2003). Dentre os fatores que contribuíram para o crescimento do setor está o aumento das exportações tanto de açúcar quanto de álcool, assim como o

aumento do consumo interno deste combustível. No ano de 2003 as vendas de carro a álcool já na linha dos “Flex fuel” (bicomcombustível: álcool e gasolina) cresceram 51,1% em relação ao ano anterior. Os veículos estritamente a álcool produzidos no país no ano de 2003 representaram 6,9% do total de automóveis negociados. A proporção era de 4,3% em 2002 e 1,4% em 2001 (PUC, 2006).

Há muito tempo praticamente toda área de cana-de-açúcar foi submetida à queima previa, com o desígnio de facilitar os artifícios de corte e carregamento. Porém, com o Decreto n.º 42.056 de 06/08/97 a colheita de cana-de-açúcar está sendo pouco a pouco substituída pela colheita mecanizada sem despalha a fogo, sendo que, atualmente na região de Piracicaba cerca de 40% das áreas são impróprias para plantio da cana-de-açúcar com colheita mecanizada (COSAN, 2008).

Quando uma área de cana-de-açúcar é submetida à colheita mecanizada, faz com que seja gerado e depositado sobre a superfície do solo uma camada grossa e espessa de palha gerando uma grande desvantagem na aplicação da adubação nitrogenada quando aplicada sobre esta superfície. A presença dessa camada sobre a superfície do solo exige alteração no manejo atual da cultura. Em relação ao manejo da adubação nitrogenada em soqueira, o grande problema é a fonte de nitrogênio utilizada nessa adubação, à uréia, pois, quando aplicada sobre a palha em fórmula simples (uréia 45% N) ou em adubos formulados, a perda por volatilização de amônia pode ser alta.

Trabalhos realizados com uréia (45% N-amídico) e uran (32% N, sendo que, 14% N-amídico, 9% N-nítrico e 9% N-amoniaco) aplicados na superfície do solo, em plantio direto de milho, mostraram que as perdas de amônia por volatilização foram baixas para o uran e elevadas para a uréia (JOHNSON, 1987; LARA CABEZAS, KORNDORFER & MOTTA, 1997; LARA CABEZAS et al., 2000).

Portanto, a aplicação de fonte amídica sobre os restos culturais de cana-de-açúcar que fica sobre a superfície do solo, associada à temperatura elevada, baixa precipitação (principalmente no início da aplicação dos adubos nitrogenados) e a concentração do fertilizante (aplicação em faixa), contribuem para o aumento da perda de N-NH<sub>3</sub> por volatilização (VITTI et al., 2005).

Na Austrália, o sulfato de amônio foi considerado a melhor fonte de N para ser aplicado sobre a palha de cana-de-açúcar devido às reduzidas perdas de amônia (WOOD, 1991).

No estado de São Paulo, o co-produto da fabricação do ácido glutâmico, Ajifer, tem sido um dos fertilizantes nitrogenados bem utilizados em cana-de-açúcar, citricultura e pastagem.

Esse co-produto líquido contém quantidades apreciáveis de matéria orgânica, N, K e SO<sub>4</sub>. Os teores de N podem variar de 40 a 70 g/kg; o de K<sub>2</sub>O de 7 a 15 g/kg, e o de S-SO<sub>4</sub> de 20-70 g/kg. Mattiazo, Gloria & Rosseto (1996a) cita outro co-produto líquido gerado na fabricação da L-lisina, que os valores de N, K são mais baixos, podendo variar de 14 a 40 g/kg; o de K<sub>2</sub>O de 0,5 a 1,0 g/kg, e o de S-SO<sub>4</sub> de 20-50 g/kg.

Contudo, existem alternativas para se aplicar fertilizantes de baixa estabilidade química na superfície do solo, como a aquamônia misturada à fonte fornecedora de íons H<sup>+</sup>, como a vinhaça (TRIVELIN et al., 1998)

Neste contexto, são formuladas as seguintes hipóteses: (i) existe a possibilidade de se criar uma mistura com uma fonte nitrogenada líquida com baixa perda por volatilização (Ajifer) associada a outras fontes de nitrogênio com elevado potencial de perda por volatilização (uréia ou aquamônia) e, (ii) a aplicação conjunta destas misturas diminuiria as perdas de nitrogênio das fontes mais voláteis.

Com base nestas hipóteses, objetiva-se com o presente estudo, desenvolver novas misturas e/ou formulações que contenha a fonte nitrogenada Ajifer e outras fontes nitrogenadas, que aplicado sobre a palha ou aplicado sobre o solo (em faixa), diminua as perdas de nitrogênio por volatilização e lixiviação.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Desenvolvimento e fabricação de fertilizantes líquidos

No mundo de hoje, a agricultura apóia-se em subsídios de vários grupos. O desenvolvimento sempre focalizou os subsídios devido ao impacto da rentabilidade da produção e na sobrevivência econômica. O uso do fertilizante fluído cresce e contribui com experiência substancial, envolve a agricultura e incrementa a eficiência industrial (FIXEN, 1994).

A experiência brasileira obtida em passado recente mostra que os adubos fluidos vieram para ficar e crescer no mercado de fertilizantes, devido à economia que representam em custo dos produtos e de aplicação (MALAVOLTA, 1994).

A cultura da cana-de-açúcar e o reflorestamento por terem características semelhantes em extensão, deverão ser as maiores consumidoras de fertilizantes fluídos, sendo que a aquamônia é a líder no Brasil seguido pelo Ajifer somente no Estado de São Paulo (FNP, 2006).

Na fermentação glutâmica (produção de ácido L-glutâmico: ácido 2-aminopentanodióico, empregado na fabricação do glutamato monossódico), com microrganismos especializados em meio contendo açúcares e fonte de nitrogênio, é gerado um co-produto líquido, denominado de Ajifer. Esse subproduto líquido contém quantidades apreciáveis de matéria orgânica, N, K e SO<sub>4</sub>.

Há algum tempo várias usinas sucro-alcololeiras e agricultores vêm usando o Ajifer *in natura* como fonte de N nas fertilizações de seus canaviais e, atualmente, devido às oscilações na oferta do co-produto, foram levantadas possibilidades para a

continuidade de uso do Ajifer nos canaviais das usinas como um todo, e as possibilidades aventadas vêm sendo questionadas a respeito de serem ou não exeqüíveis.

As informações da eficiência agronômica de adubos fluídos nitrogenados comparados aos sólidos são escassas e tinham sido geradas para condições da América do Norte. As poucas informações existentes em nosso meio tratavam da amônia anidra aplicada à cana-de-açúcar comparada ao nitrato de amônio (BRINHOLI et al., 1980a,b; BRINHOLI, MACHADO & LIEM, 1981).

Dos resultados dessas pesquisas, esperava-se que a eficiência agronômica da aquamônia fosse, ao menos, equiparada às fontes sólidas.

Resultados dos primeiros ensaios de complementação com N em áreas de vinhaça, desenvolvidos pelo Centro de Tecnologia Copersucar - CTC - (PENNA & FIGUEIREDO, 1984), não evidenciavam diferença de produtividade da cultura adubada com a fonte nitrogenada fluída ou sólida (uréia), desde que os adubos fossem aplicados em profundidade no solo.

## **2.2 Aplicação de fertilizantes líquidos na cultura canavieira**

Não se considerando o chorume e a vinhaça, os adubos fluidos começaram a ser usados no Brasil quase meio século depois de iniciado o seu emprego nos EUA (MALAVOLTA, 1994).

A adubação dos canaviais paulistas com fertilizantes fluídos foi introduzida em meados da década dos anos setenta, com base em suas vantagens econômicas em

relação aos adubos sólidos (BICHARA & AZEVEDO, 1988; COLETI, 1989; BOARETTO et al., 1991).

No período que compreendeu de 1974 a 1984, vários acontecimentos levaram as companhias agrícolas das usinas sucro-alcooleiras a utilizar a adubação fluída para aplicação no solo, ou seja, existia uma oferta de fertilizantes fosfatados e nitrogenados produzidos dentro do país, e a área plantada com a cana-de-açúcar aumentou devido ao Programa Nacional do Álcool (Proalcool).

Automaticamente, a produção de álcool gerou grande quantidade de vinhaça (subproduto da indústria alcooleira), e a vinhaça passou a ser empregada na fertilização de soqueiras de cana-de-açúcar.

As adubações com nitrogênio eram realizadas com adubos sólidos, como a uréia (45% de N), o sulfato de amônio (21% de N) e o nitrato de amônio (32% de N); o custo de fertilizantes nitrogenados sólidos elevava o custo de produção. Com o suprimento garantido das matérias-primas para a produção de fertilizantes fluídos para P e K, e a amônia anidra (82% de N), como fonte de N, sendo entregue nas usinas, produzia-se a aquamônia (16 a 20% de N), cujo emprego representou uma redução de 30% no custo de produção (FERNANDES & CARMELLO, 1984; BICHARA & AZEVEDO, 1988; COLETI, 1989; BOARETTO et al., 1991).

A opção pela utilização dos fertilizantes fluídos na cultura canavieira brasileira baseou-se nos resultados obtidos em outros países, nos quais, para diversas culturas, a eficiência no aproveitamento de ambas as formas de fertilizantes (fluídas e sólidas) foi a mesma, comprovando que, é grande a vantagem técnica e econômica que o processo representa Carmello (1984) e Trivelin, Rodrigues & Vitoria (1986).

A adubação nitrogenada de soqueira com as duas fontes nitrogenadas (uréia: sólida ou aquamônia: fluída) na adubação da cana-de-açúcar, sofrem influência da umidade do solo, sendo que, a aquamônia influenciada positivamente por esse fator (SILVA et al., 1988).

Penna & Figueiredo (1984), concluíram que os acréscimos obtidos na produção final de colmos, nas áreas de soqueiras, foram proporcionais às doses de nitrogênio aplicadas. Na média, a complementação com 80 kg de nitrogênio por hectare na forma líquida (aquamônia) foi 19% mais lucrativa que a testemunha (sem nitrogênio), mas não diferiu significativamente da mesma dose na forma sólida (uréia).

### **2.3 Importância da adubação nitrogenada na cultura canavieira**

O N é o nutriente mineral mais exigido pelas culturas, e isto se reflete no consumo mundial de fertilizantes contendo o nutriente, superando as quantidades utilizadas de fósforo e potássio (RAIJ, 1991).

Contudo, de todos os nutrientes, o nitrogênio é o que tem proporcionado resultados mais controvertidos na cultura canavieira, dificultando uma recomendação adequada. A necessidade da cana-de-açúcar por nitrogênio é em parte suprida pelo solo, pela fixação biológica e em parte pelo fornecimento do nutriente por meio de fertilizantes (PENATTI & FORTI, 1994). Entretanto, Gava, Trivelin & Vitti (2003), trabalhando com  $^{15}\text{N}$ , relatam que do nitrogênio total acumulado na parte aérea da soqueira de cana-de-açúcar, 10 a 16 % foram absorvidos da uréia e 4 %, em média, do nitrogênio mineralizado da palhada.

As adubações nitrogenadas têm sua eficiência influenciada por uma série de fatores como época e modo de aplicação, fonte, umidade do solo, ciclo agrícola: cana-planta ou cana-soca, variedade, teor de matéria orgânica, dentre outros. A cana-planta normalmente responde pouco à adubação nitrogenada, enquanto a cana-soca apresenta maiores possibilidades de respostas positivas a essa adubação (ZAMBELO JÚNIOR & ORLANDO FILHO, 1981).

De modo geral, recomenda-se a dose média de 100 kg de N.ha<sup>-1</sup> em soqueiras de cana-de-açúcar, independente de qualquer fator (ZAMBELO JÚNIOR & ORLANDO FILHO, 1981). Desse modo pode-se presumir que, em diversas condições, essa recomendação de adubação nitrogenada ora é subestimada ou superestimada. Outro fator que pode influenciar os efeitos da adubação nitrogenada diz respeito aos adubos fluídos com que é denominado uma grande variedade de produtos que apresentam como característica comum a possibilidade de serem manipulados, transportados, armazenados e distribuídos em forma fluída (BOARETTO, CRUZ & LUZ, 1991).

#### **2.4 Adubação sobre a palha de soqueira de cana-de-açúcar**

O Decreto nº 42.056 de 06/08/97 estabeleceu que a colheita de cana-de-açúcar queimada deveria ser substituída gradualmente pela colheita de cana sem despalha a fogo no Estado de São Paulo. A colheita da cana sem queima faz com que espessa camada de palha seja depositada na superfície do solo.

Atualmente, pouco mais de 40% de toda a área de cana-de-açúcar colhida no Estado de São Paulo já é mecanizada. O levantamento é do Instituto de Economia Agrícola (IEA) do Estado de São Paulo, que se baseou em estimativas de safra

fornecidas pelo CATI (Coordenadoria de Assistência Técnica Integral), vinculado à secretaria da Agricultura. De acordo com o estudo, do total da produção de cana-de-açúcar estimada em 320 milhões de toneladas para o período, 189 milhões foram colhidas manualmente - uma média de 8,76 toneladas colhidas por dia por pessoa e 132 dias trabalhados na safra. O estudo estima que 163,1 mil pessoas trabalhem no setor paulista (VALOR ECONÔMICO, 2008).

Os municípios com maior índice de mecanização, com percentuais acima de 50%, são Franca, Limeira e Ribeirão Preto, com lavouras altamente tecnificadas. Entre 30% e 49% de mecanização, o estudo do IEA cita Campinas e Araraquara. Porém, os municípios de Piracicaba, Itapetininga, Marília, General Salgado e Araçatuba ainda não chegaram ou estão próximas dos 20% (VALOR ECONÔMICO, 2008).

A espessa camada de palha depositada sobre o solo, em soqueira de cana colhida sem despalha a fogo, dificulta a aplicação da uréia em profundidade e a difusão do N-NH<sub>3</sub> para o interior do solo, bem como intensifica a atividade da uréase (VITTI, 2003). Dessa forma, a palhada tende a agravar as perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização.

Em trabalho realizado com uréia, Trivelin et al. (2002) constataram que a aplicação sobre a palhada da cana-de-açúcar proporcionou uma recuperação de cerca de 9% (49% no sistema solo-planta) do nitrogênio e quando a uréia foi aplicada sobre o solo sem palhada a recuperação de nitrogênio pela planta de cana-de-açúcar atingiu valores próximos a 30% (57% no sistema solo-planta).

## **2.5 Métodos para avaliação das perdas de nitrogênio em fertilizantes líquidos e recuperação pelo solo quando aplicado com o isotópico $^{15}\text{N}$**

Trivelin, Bendassoli & Muraoka 1997 e Trivelin, et al., 1998 testaram a alternativa de misturar aquamônia à vinhaça. Caso essa mistura fosse estável seria possível aplicá-la diretamente no campo, sobre a palha. Inicialmente, Trivelin et al. (1997) avaliaram quimicamente a mistura. Os resultados experimentais permitiram estimar que o pH da mistura com adição de 1,00 e 0,80 g L<sup>-1</sup> de N-NH<sub>3</sub> à vinhaça ficaria entre 5,0-5,5 e 4,5-5,0, respectivamente, o que se confirmou pelos resultados experimentais.

Trivelin et al. (1998) avaliaram as perdas de NH<sub>3</sub> por volatilização da mistura de vinhaça e aquamônia e de solução de uréia aplicadas ao solo com coletor semi-aberto-estático (LARA CABEZAS et al., 1999). A recuperação no solo do N das fontes nitrogenadas foi quantificada pela técnica isotópica com  $^{15}\text{N}$  e a volatilização de amônia da mistura de aquamônia e vinhaça, aplicada em solo coberto ou não com palhada, foi de mesma grandeza (5-7% do N aplicado) que a de solução de uréia aplicada superficialmente, em solo sem a palhada, e inferior ao da fonte amídica aplicada sobre a palha (11%).

Confirmando os resultados de volatilização, verificou-se uma menor recuperação do  $^{15}\text{N}$  no tratamento com solução de uréia aplicada sobre a palhada (57%) comparativamente a do tratamento com aquamônia misturada à vinhaça, que evidenciou nas mesmas condições, maior valor (74,2%). Estes resultados permitiram recomendar a mistura fluida de aquamônia e vinhaça (pH<7) aplicada superficialmente na fertilização nitrogenada de soqueiras, após a colheita mecanizada da cana sem despalha a fogo.

## 2.6 Utilização do traçador isotópico $^{15}\text{N}$ no estudo da dinâmica da adubação nitrogenada

Os isótopos de um elemento possuem o mesmo número atômico, o mesmo número de prótons, mas diferem em sua massa atômica, a qual esta definida pelo número de nêutrons no núcleo. Existem vários elementos que apresentam vários isótopos, no caso do nitrogênio existem seis isótopos. Os isótopos  $^{12}\text{N}$ ,  $^{13}\text{N}$ ,  $^{16}\text{N}$  e  $^{17}\text{N}$  são artificiais, emitem radiação e tem meia vida muito curta, porém, os isótopos  $^{14}\text{N}$  e  $^{15}\text{N}$  são naturais, estáveis e de meia vida infinita (IAEA, 1983).

Os isótopos estáveis do nitrogênio,  $^{14}\text{N}$  e  $^{15}\text{N}$ , ocorrem na natureza numa taxa praticamente constante, sendo o  $^{15}\text{N}$  com uma abundância média na atmosfera de 3,66 mg.g<sup>-1</sup> de N (0,366%) e o  $^{14}\text{N}$  com 996,34 mg.g<sup>-1</sup> de N (99,634%), com a relação entre os dois isótopos de 272,0 ± 0,3:1 (IAEA, 1983).

Os espectrômetros de massa são utilizados para se quantificar os isótopos de um elemento. Na determinação isotópica do  $^{15}\text{N}$  (átomos %), o N presente nas amostras deve ser transformado em gás N<sub>2</sub>. As moléculas de N<sub>2</sub> são ionizadas, e os íons formados são separados pela razão carga/ massa, num campo magnético sob vácuo. Em seguida, os íons formados são coletados pelo sistema de detecção do aparelho, sendo possível quantificar a abundância relativa por meio das correntes formadas nos coletores de íons. Dessa maneira, os íons de massa 28 ( $^{14}\text{N}^{14}\text{N}$ )<sup>+</sup>, 29 ( $^{14}\text{N}^{15}\text{N}$ )<sup>+</sup> e 30 ( $^{15}\text{N}^{15}\text{N}$ )<sup>+</sup> são quantificados para calcular a concentração do  $^{15}\text{N}$  no material analisado (BARRIE & PROSSER, 1996).

O emprego da técnica isotópica com  $^{15}\text{N}$  serve, por exemplo, para quantificar as perdas de nitrogênio no solo por volatilização de amônia, lixiviação de nitrato ou

desnitrificação. Possibilita quantificar o aproveitamento do N proveniente de diferentes adubos pelas plantas cultivadas. Este tipo de técnica também é usada para fornecer ao organismo em estudo uma razão isotópica diferente da natural ( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ), avaliando-se em seguida a distribuição do isótopo no sistema em estudo (BENDASSOLLI, TRIVELIN & IGNOTO, 2002).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento contou com duas fases, sendo, (i) fase laboratorial de desenvolvimento de formulações dos fertilizantes líquidos e a caracterização físico-química das misturas fluidas contendo co-produto da fabricação do ácido glutâmico (Ajifer) e água como veículo (solvente), e uréia ou aquamônia como fonte de nitrogênio, e como fonte de potássio cloreto de potássio (KCl) ou vinhaça (soluto), e uma (ii) fase campo, a qual realizou-se a aplicação das formulações preparadas e selecionadas em laboratório para verificar a eficiência agronômica destas misturas.

#### **3.1 Fase Laboratorial**

##### **3.1.1 Fase laboratorial: descrição das formulações, metodologia empregada para estabelecer as misturas e seleção**

Nesta fase foram realizados vários ensaios em laboratório com as diferentes formulações, com a finalidade de verificar a melhor delas quanto à estabilidade física e química do produto. Estes ensaios foram realizados no Laboratório de Isótopos Estáveis do Centro de Energia na Agricultura (LIE/CENA), implantados de março de 2007 a julho 2007, divididos em três etapas:

1.<sup>a</sup> Etapa: Descrição das formulações com balanço de nitrogênio e potássio do fertilizante com as diferentes matérias-primas (KCl ou vinhaça e uréia ou aquamônia);

2.<sup>a</sup> Etapa: Seleção das melhores formulações das diferentes matérias-primas (KCl ou vinhaça e uréia ou aquamônia) quanto à estabilidade física da mistura;

3.<sup>a</sup> Etapa: Avaliações das formulações quanto à estabilidade química, avaliando-se, acidez das misturas e a estabilidade do N do Ajifer *in natura* e das misturas, em três tempos (0, 3 e 5 dias) depois de estabelecida à mistura.

Na primeira etapa da fase laboratorial, realizou-se a descrições das formulações bem como as misturas das matérias-primas.

As misturas foram realizadas utilizando Ajifer como veículo principal, sendo que, a uréia ou aquamônia foi dissolvida junto ao Ajifer e a fonte de potássio, no caso KCl, foi sempre dissolvido em água, para posterior mistura junto a solução formada pelo Ajifer + Uréia ou Ajifer + Aquamônia, pois, a solubilidade do KCl em água a 20 °C é de 32,0 g de KCl/100 g H<sub>2</sub>O, bem melhor que a solubilidade em Ajifer que é de 21,0 g de KCl/100g Ajifer, tabelas 3.1.1.1.

Tabela 3.1.1.1 – Descrição das formulações das quatro misturas testadas em laboratório com Ajifer, uréia, KCl e água.

Matérias-primas	(Ajifer + Uréia + KCl)				
	Quantidades MP(Matérias-primas)	Concentrações		Quantidades	
		g	N	K <sub>2</sub> O	N
		g kg <sup>-1</sup>		g	
1. Mistura					
Ajifer	172,00	43,00		7,40	
Uréia	16,00	450,00		7,20	
KCl	30,00		600,00		18,00
Água	55,00				
Total	273,00	53,0	66,0	14,60	18,00
2. Mistura					
Ajifer	200,00	43,00		8,60	
Uréia	5,20	450,00		2,34	
KCl	23,00		600,00		13,80
Água	55,00				
Total	283,20	38,60	48,70	10,94	13,80
3. Mistura					
Ajifer	95,00	43,00		4,09	
Uréia	18,00	450,00		8,10	
KCl	25,00		600,00		15,00
Água	55,00				
Total	193,00	63,0	78,0	12,19	15,00
4. Mistura					
Ajifer	146,00	43,00		6,28	
Uréia	7,00	450,00		3,15	
KCl	19,00		600,00		11,40
Água	45,00				
Total	217,00	43,0	53,0	9,43	11,40

Na solução contendo AJIFER + Aquamônia + KCl, a adição da aquamônia foi realizada através da medida de acidez titulável do AJIFER com hidróxido de sódio, como avaliado para amostras de vinhaça por Trivelin, Bendassoli & Oliveira, (1997). Isso foi realizado para que a quantidade de N-NH<sub>3</sub> adicionado na forma de aquamônia, ficasse retido na solução na forma do íon amônio (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), impedindo a perda de N-NH<sub>3</sub> da solução.

Tabela 3.1.1.2 – Descrição das formulações das quatro misturas desenvolvidas em laboratório com Ajifer, aquamônia, KCl e água.

(Ajifer + Aquamônia + KCl)					
Matérias-primas	Quantidades	Concentrações		Quantidades	
	MP(Matérias-primas)	N	K <sub>2</sub> O	N	K <sub>2</sub> O
	g	g kg <sup>-1</sup>		g	
1. Mistura					
Ajifer	185,00	43,00		7,96	
Aquamônia	7,00	99,00		0,69	
KCl	18,00		600,00		10,80
Água	49,75				
Total	259,75	33,0	42,0	8,65	10,80
2. Mistura					
Ajifer	180,00	43,00		7,74	
Aquamônia	12,00	190,40		2,28	
KCl	20,80		600,00		12,48
Água	46,00				
Total	258,80	39,0	48,0	10,02	12,48
3. Mistura					
Ajifer	85,00	43,00		3,66	
Aquamônia	6,00	205,00		1,23	
KCl	10,00		600,00		6,00
Água	50,50				
Total	151,50	32,20	39,60	4,89	6,00
4. Mistura					
Ajifer	160,00	43,00		6,88	
Aquamônia	15,00	205,00		3,08	
KCl	20,00		600,00		12,00
Água	45,00				
Total	240,00	41,0	50,0	9,96	12,00

A outra fonte de potássio, a vinhaça, foi sempre adicionada diretamente em solução sem a adição de água, tabela 3.1.1.3.

Tabela 3.1.1.3 – Descrição das formulações das quatro misturas desenvolvidas em laboratório com Ajifer, uréia e vinhaça concentrada.

(Ajifer + Uréia + Vinhaça Concentrada)					
Matérias-primas	Quantidades	Concentrações		Quantidades	
	MP(Matérias-primas)	N	K <sub>2</sub> O	N	K <sub>2</sub> O
	g	g kg <sup>-1</sup>		g	
1. Mistura					
Ajifer	86,00	43,00		3,70	
Uréia	8,00	450,00		3,60	
Vinhaça Conc.	220,00		41,00		9,02
Água	0,00				
Total	314,00	23,0	29,0	7,30	9,02
2. Mistura					
Ajifer	91,00	43,00		3,91	
Uréia	2,50	450,00		1,13	
Vinhaça Conc.	170,00		41,00		6,97
Água	0,00				
Total	263,50	19,10	26,50	5,04	6,97
3. Mistura					
Ajifer	47,50	43,00		2,04	
Uréia	9,00	450,00		4,05	
Vinhaça Conc.	182,00		41,00		7,46
Água	0,00				
Total	238,50	26,0	31,0	6,09	7,46
4. Mistura					
Ajifer	73,00	43,00		3,14	
Uréia	3,50	450,00		1,58	
Vinhaça Conc.	140,00		41,00		5,74
Água	0,00				
Total	216,50	22,0	27,0	4,71	5,74

A segunda etapa de seleção das melhores formulações, com as diferentes matérias-primas (KCl ou vinhaça e uréia ou aquamônia), a estabilidade física da mistura foi o aspecto mais importante a ser considerado.

A estabilidade física para o produto final foi avaliado através da visualização das misturas quanto ao aspecto de solubilidade das matérias-primas adicionadas.

Contudo, uma formulação foi considerada apta para utilização na fabricação do fertilizante, quando apresentou perfeita solubilidade das matérias-primas e estabilidade

física da solução (sem aparecimento de decantado insolúvel) e quando a relação  $K_2O/N$  foi  $\geq 1,25$ .

A metodologia empregada para avaliação da estabilidade física foi conforme o 3º parágrafo do capítulo II da Instrução Normativa n.º 5 de 05/08/2004, do Decreto Nº 4954, de 14/01/2004 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), que cita:

Fertilizante fluido: produto que se apresenta no estado de solução ou suspensão, em que indique obrigatoriamente a sua densidade e as suas garantias em percentagem mássica (peso de nutrientes por peso de produto) e em massa por volume (quilogramas por hectolitro ou gramas por litro), devendo a indicação desta última ser feita entre parênteses, com a mesma dimensão gráfica, podendo ser apresentada como:

I - solução verdadeira: são soluções com ausência de sólidos suspensos e sem qualquer possibilidade de separação física entre os componentes, ou seja, soluto e solvente;

II - suspensão homogênea: são dispersões compostas de uma fase líquida, que é uma solução verdadeira ou apenas um dispersante, e outra fase de sólidos em suspensão, mas que fica homogeneamente dispersa na fase líquida; a dispersão fluida homogênea pode apresentar separação de fases, mas só após longo período de decantação, mas a homogeneidade da suspensão deve ser recomposta facilmente por agitação; a viscosidade das dispersões homogêneas varia desde a viscosidade da água até à dos géis coloidais;

III - suspensão heterogênea: são dispersões compostas de pelo menos uma fase líquida predominante, que é uma solução verdadeira ou apenas um dispersante, e uma ou mais fases de sólidos em suspensão, que só ficam homogeneamente dispersas na fase líquida sob vigorosa agitação; cessando agitação pode ocorrer rápida separação de fases; a dispersão fluida heterogênea geralmente apresenta viscosidade e densidades elevadas.

Uma mistura foi considerada apta para formulação, somente quando a mesma foi enquadrada em solução verdadeira preferencialmente ou suspensão homogênea, descartando-se as misturas que se enquadravam em suspensão heterogênea.

Na terceira etapa as formulações foram avaliadas quanto à estabilidade química, acidez e estabilidade do N do Ajifer *in natura* das misturas, em três tempos (0, 3 e 5 dias) após a formação da mistura.

A metodologia empregada para análise do nitrogênio total foi de Kjeldahl (NKT), sendo que, esta metodologia tem sido utilizada desde 1883 (YASUHARA & NOKIHARA, 2001), e apresenta como principal vantagem o uso de uma aparelhagem extremamente simples e pouco onerosa.

De acordo com Bremner (1965) e Keeney & Bremner (1967), o método clássico Kjeldahl é satisfatório para a análise de N-total para a maioria dos compostos nitrogenados que ocorrem nos solos e plantas. Entretanto, não apresenta resultados satisfatórios quando estão presentes compostos com ligações N-NO<sub>3</sub>.

Tabela 3.1.1.4 – Caracterização química da vinhaça concentrada proveniente da Usina Santa Elisa – SP.

Vinhaça Concentrada - Usina Santa Elisa		
Parâmetros	Unidade	Valores
pH		4,3
Índice Salino		15,3
Densidade	g cm <sup>-3</sup>	1,24
Nitrogênio Total	g kg <sup>-1</sup>	6,8
Nitrogênio Amoniacal	g kg <sup>-1</sup>	6,3
Nitrogênio Nitríco	g kg <sup>-1</sup>	0,0
Potássio (K <sub>2</sub> O)	g kg <sup>-1</sup>	41,1
Enxofre (SO <sub>4</sub> )	g kg <sup>-1</sup>	0,0
Matéria-Orgânica	g kg <sup>-1</sup>	306,4

As matérias-primas utilizadas como fonte de nitrogênio e potássio (Ajifer, uréia, aquamônia, vinhaça concentrada e KCl) para a preparação das formulações apresentadas, originalmente não apresentam N-NO<sub>3</sub> na sua constituição, tabelas 3.1.1.4 e 3.1.1.5, portanto, optou-se pelo método clássico de Kjeldahl para análise de N-total.

Tabela 3.1.1.5 – Caracterização do Ajifer proveniente da Ajinomoto Biolatina de Laranjal Paulista-SP.

AJIFER NKS 5 - Ajinomoto Biolatina		
Parâmetros	Unidade	Valores
pH		3,2
Índice Salino		41,1
Densidade	g cm <sup>-3</sup>	1,15
Nitrogênio Total	g kg <sup>-1</sup>	43,0
Nitrogênio Amoniacal	g kg <sup>-1</sup>	43,0
Nitrogênio Nitríco	g kg <sup>-1</sup>	0,0
Potássio (K <sub>2</sub> O)	g kg <sup>-1</sup>	5,0
Enxofre (SO <sub>4</sub> )	g kg <sup>-1</sup>	145,0
Matéria-Orgânica	g kg <sup>-1</sup>	320,0

## **3.2 FASE CAMPO**

Nesta (ii) fase foram realizados os ensaios experimentais em campo, aplicando as formulações preparadas e selecionadas em laboratório, verificando a recuperação de nitrogênio das fontes nitrogenadas, N-uréia ou N-aquamônia, quando aplicadas conjuntamente com o Ajifer.

### **3.2.1 Localização da área experimental, tipo de solo, manejo e época da amostragem**

O período do experimento foi de 10 outubro de 2007 a 30 de outubro de 2007, no campo experimental da fazenda da Apta, Pólo Regional Centro –Sul, em Piracicaba, SP, localizado no município de Piracicaba, estado de São Paulo, com localização geográfica de 22°42´S, 47°38´W e altitude de 580 m acima do nível do mar.

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico, de textura argilosa em superfície e subsuperfície, com declive médio de 10%.

O clima segundo Köppen é Cwa, determinado “tropical de altitude”, com média históricas anuais de temperatura, precipitação pluviométrica e umidade relativa de 21,1 °C, 1.257 mm e 74% respectivamente. Dados pertinentes ao clima durante ao período experimental são apresentadas na figura 3.2.1.1

O manejo da área experimental foi o mesmo que em área de ciclo agrícola: cana-soca de ultimo corte, não houve a correção do solo com calcário e gesso, nem qualquer movimentação do solo para descompactação.

A área experimental contou com 300 m<sup>2</sup> divididos em cinco tratamentos e 40 parcelas.

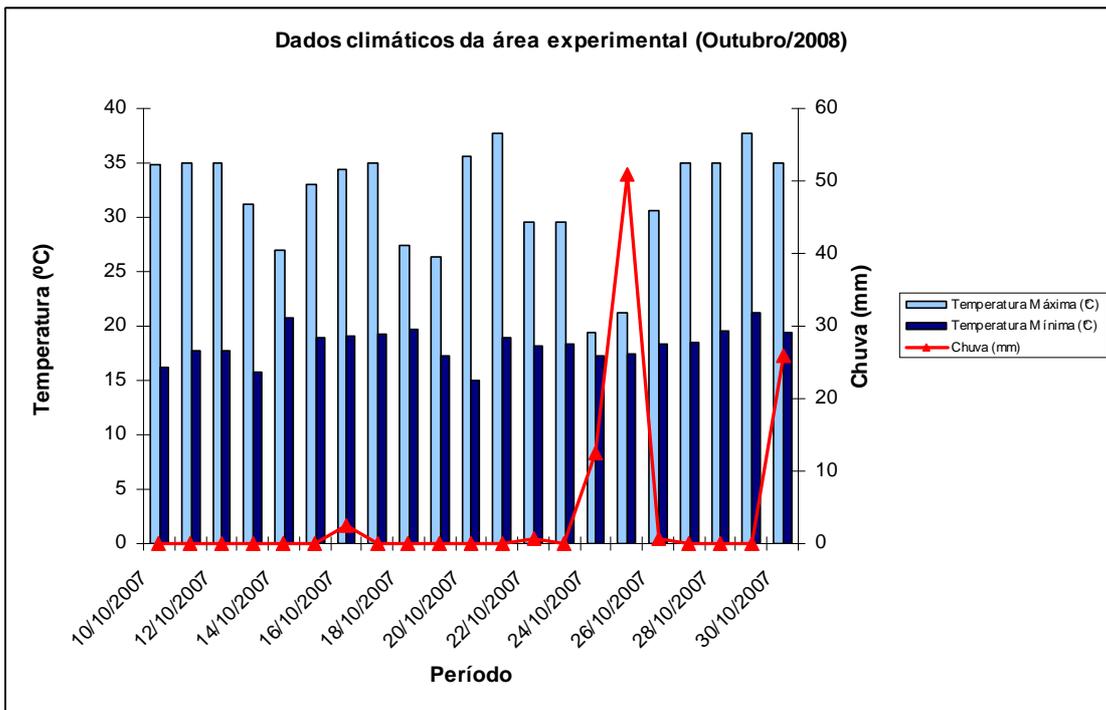


Figura 3.2.1.1 - Dados climáticos da área experimental durante o mês de outubro de 2007 (DAI 0 e DAI 20).

### 3.2.2 Delineamento e parcelas experimentais

A fase (ii) campo contou com a aplicação das formulações selecionadas no campo na área confinada das parcelas (tubos).

Os tubos utilizados foram de PVC, com 2 mm de espessura, 100 mm de diâmetro e 250 mm de altura, sendo que, estes tubos foram enterrados na profundidade máxima de 200 mm, ficando com 50 mm sobre a superfície, conforme demonstrado na figura 3.2.2.1..

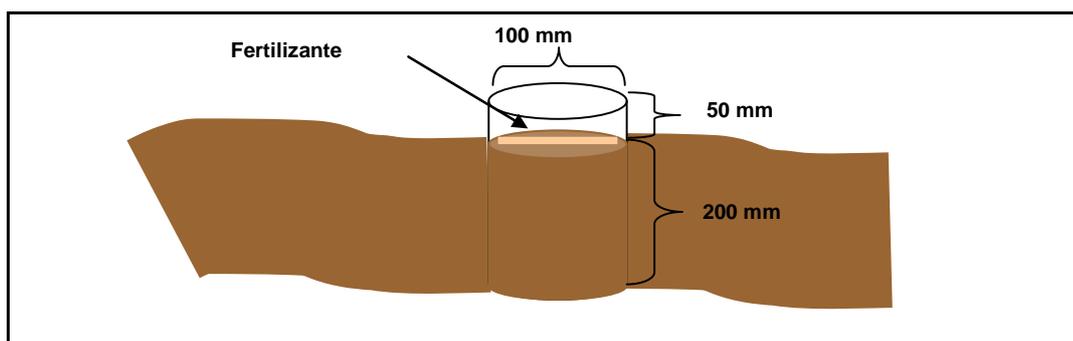


Figura 3.2.2.1 - Esquema da parcela com tubo de confinamento onde foi aplicado o fertilizante marcado, contudo, o tubo de confinamento poderá ter no seu interior palhada ou não de cobertura.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso com cinco tratamentos subdivididos em: aplicação do fertilizante sobre a palha e aplicado sobre o solo, com uma única coleta, sendo que, cada tratamento contou com quatro repetições.

Estes tratamentos estavam distribuídos em quatro linhas com 10 tubos cada linha, e entre linhas de 1,70 m, conforme figura 3.2.2.2 e 3.2.2.3.

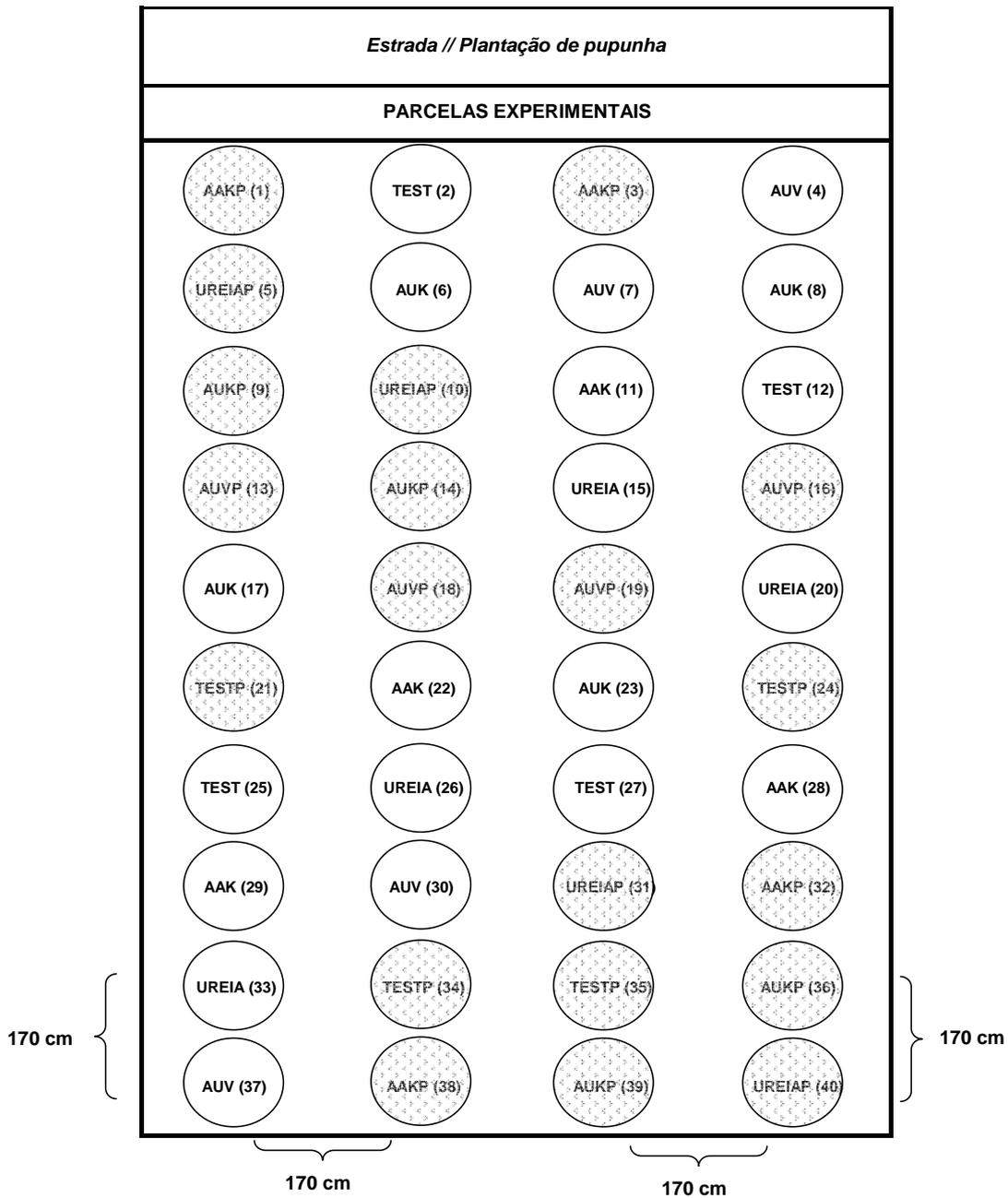


Figura 3.2.2.2 - Esquema da área experimental com 40 parcelas numeradas, sendo que, as parcelas destacadas são aquelas que receberam aplicação do fertilizante sobre a palhada da cana-de-açúcar e as não destacadas são aquelas que receberam o fertilizante sobre solo sem cobertura (solo).



Figura 3.2.2.3 - Vista da área experimental em DAI 0, destacando quatro linhas com 10 tubos, totalizando 40 tubos confinados, divididos em 5 tratamentos, com e sem palhada de cana-de-açúcar de cobertura, mostrando as telas para fixação da palhada dentro dos tubos com palhada.

Cada tratamento recebeu a mesma adubação por hectare equivalente do ciclo agrícola: cana-soca, sendo diferentes somente as fontes nitrogênio utilizadas nos tratamentos:

90 kg de nitrogênio (N);

120 kg de potássio ( $K_2O$ );

(T1) testemunha sem adubação;

(T2) Uréia (marcado com  $^{15}N$ ) + KCl;

(T3) Ajifer + Uréia (marcado com  $^{15}N$ ) + KCl;

(T4) Ajifer + Aquamônia (marcado com  $^{15}N$ ) + KCl;

(T5) Ajifer + Uréia (marcado com  $^{15}N$ ) + Vinhaça Concentrada.

### 3.2.3 Preparação das parcelas e aplicação dos fertilizantes líquidos

As aplicações dos fertilizantes líquidos nos tratamentos com e sem palhada, foram realizadas no DAI (dias após a implantação) = 0, na área confinada com os tubos de PVC.

Cada parcela confinada continha uma massa de aproximadamente 20 g de palhada de cana-de-açúcar por tubo, sendo que, esta quantidade representava um valor de  $25 \text{ t ha}^{-1}$  de matéria seca de palha de cana-de-açúcar.

A dose de cada produto foi equivalente a uma adubação de 90 kg de N e 120 kg  $\text{K}_2\text{O}$ , sendo que, após aplicação dos fertilizantes líquidos ou sólidos, todos receberam a aplicação de água no tubo, simulando a uma chuva de 10 mm equivalente.

Deve-se ressaltar que em todos os tratamentos, todas as aplicações dos fertilizantes foram feitas na forma líquida, mesmo a aplicação de (Uréia + KCl), fazendo com que o fertilizante fosse incorporado ao solo na profundidade média de 3 cm.

As parcelas que continham a palhada como cobertura recebeu uma tela de proteção para evitar que a palha fosse removido do tubo pelo vento, evitando-se perda de material da parcela. Figura 3.2.3.1.



Figura 3.2.3.1 - Vista da parcela com a palhada de cobertura, com tela de proteção para retenção da palha.

### 3.2.4 Avaliação do nitrogênio nas amostras de palha

Foram coletadas as amostras das áreas experimentais nas parcelas em que havia a palhada de cana-de-açúcar como cobertura.

A coleta das amostras de palha dos tubos confinados foi realizada em uma única vez, em conjunto com a coleta da amostra de solo.

As amostras de palha foram retiradas do tubo no campo e embaladas em sacos plásticos, e no mesmo dia da coleta, as amostras foram enviadas para o Laboratório de Isótopos Estáveis (LIE), registradas, pesadas e submetidas à secagem em estufa com temperatura de 65° C até peso constante. Posteriormente, estas amostras foram

moídas, homogeneizadas e sub-amostradas com peso de 5 $\mu$ g para realizar a análise química e isotópica de  $^{15}\text{N}$  no material.

As análises foram realizadas no LIE do CENA-USP, em Piracicaba-SP, onde foi medida a concentração percentual de N e abundância isotópica de  $^{15}\text{N}$ , em espectrômetro de massa automatizado de fluxo contínuo para análise de carbono e nitrogênio, modelo ANCA SL, da Europa Scientific, descrito por Mulvaney (1993) e Barrie & Prosser (1996), conforme figura 3.2.4.1.



Figura 3.2.4.1 - Espectrômetro de massa ANCA SL utilizado nas avaliações de N% e  $^{15}\text{N}$ .

### 3.2.5 Avaliação do nitrogênio nas amostras de solo

Os tubos foram retirados do solo de forma intacta em uma única vez, para evitar a perda de terra. Após a coleta, os tubos foram enviados para o laboratório para divisão das amostras nas duas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm.

Posteriormente, as amostras de solo foram registradas, e a secagem feita ao ar, para a determinação do nitrogênio derivado do fertilizante e presente no solo.

Essas amostras foram passadas em peneira com malha de 2 mm de abertura, moídas em moinho de bolas para atingir a granulometria adequada, homogeneizadas e sub-amostradas para realizar a análise química do material. A concentração percentual de N e abundância isotópica de  $^{15}\text{N}$  foi realizada em espectrômetro de massa automatizado de fluxo contínuo para análise de carbono e nitrogênio. (Figura 3.2.5.1).



Figura 3.2.5.1 - Vista geral das amostras no experimento no DAI 20, finalização do experimento.

### 3.2.6 Análise dos dados de N

Considerando:

- Massa de solo ( $mSol_i$ , g parcela<sup>-1</sup>);
- Concentração de N no solo ( $C_{Ni}$ , %);
- Abundância isotópica ( $A_{Ni}$ , %);

Onde  $i$  é o numero do compartimento e

$$A_{Ni} = \left[ \frac{C_{15N1}}{C_{15Ni} + C_{14Ni}} \right] \times 100 \quad (3.2.6.1)$$

é possível estimar:

- a) Nitrogênio total acumulado no compartimento  $i$  ( $NA_i$ , g parcela<sup>-1</sup>);

$$NA_i = mSol_i \times \frac{C_{N1}}{100} \quad (3.2.6.2)$$

- b) Nitrogênio derivado do fertilizante no compartimento  $i$  ( $Nddf_i$ , %)

$$A_{Ni} = \left[ \frac{A_{N1} - A_{Nc1}}{A_{Nf} + A_{Nci}} \right] \times 100 \quad (3.2.6.3)$$

sendo  $A_{Nf}$  a abundancia isotópica do fertilizante e  $A_{Nc}$  a abundância isotópica

natural do compartimento i, esta última medida em amostras não marcadas isotopicamente, denominadas controle.

b) Quantidade de Nitrogênio derivado do compartimento i ( $QNddf_i$ , g parcela<sup>-1</sup>)

$$QNddf_i = \left[ \frac{Nddf_i}{100} \right] \times NA_i \quad (3.2.6.4)$$

d) Recuperação do N do fertilizante pela planta ( $R_i$ , %)

$$R_i = \left[ \frac{QNddf_i}{Q_{Nf}} \right] \times 100 \quad (3.2.6.5)$$

sendo,  $Q_{Nf}$  a quantidade de fertilizante marcado aplicado no solo até o momento da medida de  $A_{Ni}$ .

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Fase Laboratorial na definição das misturas a serem aplicadas em campo

Na fase (i) laboratorial chegou-se a resultados importantes quanto às execuções das etapas de desenvolvimento do produto, sendo que, na primeira etapa, contou com a descrição das formulações com balanço de nitrogênio e potássio do fertilizante com as diferentes matérias-primas (cloreto de potássio, vinhaça, uréia e aquamônia), a segunda etapa, seleção das melhores formulações, quanto à estabilidade física da mistura e, a terceira etapa, com as avaliações das formulações quanto à estabilidade química (acidez das misturas e da estabilidade do N do Ajifer *in natura* em três tempos – 0, 3 e 5 dias) depois de estabelecida à mistura.

Tabela 4.1.1 – Parâmetros avaliados conforme Instrução Normativa nº 5 do MAPA sobre a classificação da estabilidade física dos fertilizantes fluídos.

MISTURAS	Sólidos suspensos	Rápida formação de fases (soluto/ solvente)	Solução verdadeira	Suspensão homogênea	Suspensão heterogênea
Ajifer + Uréia + KCl					
I	X	X			X
II	X			X	
III	X	X			X
IV	X	X			X
Ajifer + Aquamônia + KCl					
I	X			X	
II	X	X			X
III	X	X			X
IV	X	X			X
Ajifer + Uréia + Vinhaça Concentrada					
I	X			X	
II			X		
III	X			X	
IV	X			X	

#### 4.1.1 Definição das misturas fluidas e sólida

##### 4.1.1.1 Misturas contendo Ajifer + Uréia + KCl

Para as quatro misturas que continham Ajifer + Uréia + KCl que foram testadas, a mistura n.º 2, conforme tabela 4.1.1.1.2, nas proporções de aproximadamente 3/4 N-Ajifer e 1/4 N-uréia (75% N-Ajifer e 25% N-uréia), KCl e água, foi a que apresentou melhores condições de solubilidade e estabilidade física, conforme tabela 4.1.1.1

O balanço final de N e K<sub>2</sub>O do fertilizante apresentou valores de 39 g kg<sup>-1</sup> de N e 49 g kg<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, sendo que, a relação K<sub>2</sub>O/N foi ≥1,25.

Tabela 4.1.1.1.1 - Balanço primário das matérias-primas utilizadas na preparação da mistura Ajifer+Uréia+KCl.

Matérias-primas	Quantidades Matérias-primas	AJIFER + URÉIA + KCL		Concentrações	
		Quantidades N	Quantidades K <sub>2</sub> O	N	K <sub>2</sub> O
		g		g kg <sup>-1</sup>	
Solução Ajifer	200,00	8,59		43,0	
Uréia Solida - <sup>15</sup> N	5,20	2,44		469,3	
KCl - 60% K <sub>2</sub> O	23,00		13,80		600,0
Água	55,00				
Total	283,20	11,03	13,80	39,0	49,0

Tabela 4.1.1.1.2 - Quantidades das matérias-primas utilizadas na preparação da mistura Ajifer+Uréia+KCl.

Matérias-primas	AJIFER + URÉIA + KCL		
	Kg/ha	g/parcela	gN/parcela
Solução Ajifer	1631,70	22,72	1,0
Uréia Solida - <sup>15</sup> N	42,42	0,59	0,3
KCl - 60% K <sub>2</sub> O	187,65	2,61	
Água	448,72	6,25	
Qtdade total mistura	2310,49	32,174	1,3

Na tabela 4.1.1.2 segue as quantidades aplicadas por hectare e por parcela do produto formulado no campo da mistura contendo Ajifer, uréia e KCl.

#### 4.1.1.2 Misturas contendo Ajifer + Aquamônia + KCl

Foram preparadas quatro diferentes misturas, porém, a mistura n.º 1 foi a que ofereceu as melhores condições de dissolução das matérias-primas, estabilidade física e química e o pH < 7 na solução final.

Os resultados de pH e de estabilidade física da mistura obteve-se utilizando as proporções aproximadas, de 90% N-Ajifer e 10% N-Aquamônia, KCl e água, conforme tabela 4.1.1.2.1.

No caso específico das misturas contendo como fonte de N-aquamônia, o pH final do produto foi considerado fator primordial na seleção da melhor mistura, pois, as soluções com pH > 7 desencadeiam perdas de N-NH<sub>3</sub>, com isso, inviabilizando a aplicação do produto.

Tabela 4.1.1.2.1 - Balanço primário das matérias-primas utilizadas na preparação da mistura Ajifer+Aquamônia+KCl.

Matérias-primas	AJIFER + AQUAMÔNIA + KCL				
	Quantidades Matérias-primas	Quantidades		Concentrações	
		N	K <sub>2</sub> O	N	K <sub>2</sub> O
		g		g kg <sup>-1</sup>	
Solução Ajifer	185,00	7,95		43,0	
Aquamônia- <sup>15</sup> N	7,00	0,69		99,0	
KCl - 60% K <sub>2</sub> O	18,00		10,80		600,0
Água	49,75				
Total	259,75	8,64	10,80	33,0	42,0

Os valores obtidos de N e K<sub>2</sub>O do fertilizante foi de 33 g kg<sup>-1</sup> de N e 42 g kg<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, com isso, a relação K<sub>2</sub>O/N foi  $\geq 1,25$  e o pH <7.

Na tabela 4.1.1.2.2 é demonstrado às quantidades aplicadas por hectare e por parcela no experimento em campo da mistura contendo Ajifer, aquamônia e KCl.

Tabela 4.1.1.2.2 - Quantidades das matérias-primas utilizadas na preparação da mistura Ajifer+Aquamônia+KCl.

Matérias-primas	AJIFER + AQUAMÔNIA + KCL		
	Kg/ha	Quantidades	
		g/parcela	gN/parcela
Solução Ajifer	1927,14	27,47	1,2
Aquamônia- <sup>15</sup> N	72,92	1,04	0,1
KCl - 60% K <sub>2</sub> O	187,51	2,67	
Água	518,25	7,39	
Qtdade total mistura	2705,81	38,569	1,3

#### 4.1.1.3 Mistura contendo Ajifer + Uréia + Vinhaça Concentrada

No caso da mistura utilizando como matéria-prima Ajifer + Uréia + Vinhaça Concentrada, todas as misturas demonstraram boa solubilidade com viabilidade de formulação, entretanto, a mistura n.º 2, nas proporções aproximadas, de 75% N-Ajifer e 25% N-uréia e, vinhaça concentrada, apresentou os melhores resultados de solubilidade e estabilidade física, sendo classificada como solução verdadeira, conforme tabela 4.1.1.3.1.

No caso dessa mistura, não foi necessária a adição de água para auxiliar na solubilização da fonte de potássio, pois, a vinhaça não necessita de água para solubilização junto ao Ajifer, bem como a fonte nitrogênio uréia.

Tabela 4.1.1.3.1 - Balaço primário das matérias-primas utilizadas na preparação da mistura Ajifer + Uréia + Vinhaça Concentrada.

Matérias-primas	Quantidades Matérias-primas	Quantidades		Concentrações	
		N	K <sub>2</sub> O	N	K <sub>2</sub> O
		g		g kg <sup>-1</sup>	
Solução Ajifer	91,00	3,91		43,0	
Uréia Solida - <sup>15</sup> N	2,50	1,17		469,3	
Vinhaça Concentrada	170,00		6,97		37,0
Água	0,00				
Total	263,50	5,06	6,34	19,0	26,0

Os valores N e K<sub>2</sub>O do fertilizante foram de 19 g kg<sup>-1</sup> de N e 26 g kg<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, mantendo-se a relação K<sub>2</sub>O/N ≥1,25. Na tabela 4.1.3.2 são destacadas as quantidades aplicadas por hectare e por parcela.

Tabela 4.1.1.3.2 - Quantidades das matérias-primas utilizadas na preparação da mistura Ajifer+Uréia+Vinhaça Concentrada.

AJIFER + URÉIA + VINHAÇA CONCENTRADA			
Matérias-primas	Quantidades		
	Kg/ha	g/parcela	gN/parcela
Solução Ajifer	1619,48	22,20	1,0
Uréia Solida - <sup>15</sup> N	44,49	0,61	0,3
Vinhaça Concentrada	3025,40	41,47	
Água	0,00	0,00	
Qtdade total mistura	4689,37	64,283	1,3

#### 4.1.1.4 Mistura contendo Uréia + KCl

A mistura Uréia + KCl foi preparada sem adição de água, e teve por finalidade de representar a aplicação de adubos minerais sólidos na cultura da cana-de-açúcar em área de ciclo agrícola: cana-soca, onde são comumente aplicadas as formulações (N+K). A tabela 4.1.1.4.1 demonstra o balanço da formulação utilizada.

Tabela 4.1.1.4.1 - Balanço primário das matérias-primas utilizadas na preparação da mistura Uréia + KCl.

Matérias-primas	UREIA + KCl				
	Quantidades Matérias-primas	Quantidades N      K <sub>2</sub> O g		Concentrações N      K <sub>2</sub> O g kg <sup>-1</sup>	
KCl - 60% K <sub>2</sub> O	67,50		40,5		600
Uréia Solida - <sup>1b</sup> N	70,00	32,15		469,3	
Total Nitrogênio	137,50	32,15	40,50	469,3	600,0

A relação dos valores  $K_2O/N$  foi  $\geq 1,25$ , como nas demais formulações líquidas realizadas. Abaixo, segue a tabela 4.1.1.4.2 com as quantidades aplicadas por hectare e por parcela.

Tabela 4.1.1.4.2 - Quantidades das matérias-primas utilizadas na preparação da mistura Uréia+KCl.

Matérias-primas	UREIA + KCl		
		Quantidades	
	Kg/ha	g/parcela	gN/parcela
Uréia Solida - $^{15}N$	195,95	2,74	1,3
KCl - 60% $K_2O$	188,95	2,65	
Qtidade total mistura	384,90	5,389	1,3

#### 4.1.2 Avaliação da estabilidade do N nas misturas fluidas

Os resultados na tabela 4.1.2.1 demonstraram que não houve diferenças significativas na concentração de nitrogênio nos tempos 0 hora, 72 horas e 120 horas em todas as misturas. Esses resultados evidenciaram que o produto depois de misturado e/ou formulado, não apresentou qualquer mudança química que acarretasse a perda N-NH<sub>3</sub>, ou qualquer mudança física que transformasse os reagentes em um sal insolúvel quando solubilizado conjuntamente com o Ajifer *in natura*.

Conforme a tabela 4.1.2.1, a adição da uréia (N-amídico) ou da aquamônia (N-amoniaco) conjuntamente com o Ajifer é viável, gerando um fertilizante formulado sem perda de N-NH<sub>3</sub> até 120 horas após a mistura.

Tabela 4.1.2.1 - Teor médio de nitrogênio total no produto nos períodos de, 0 hora, 72 horas e 120 horas após as misturas.

Tratamentos	0 hora		72 horas		120 horas	
	% N		% N		% N	
Ajifer+Uréia+Vinhaça Conc.	2,11	A	2,06	A	2,12	A
Ajifer+Uréia+KCl	4,13	A	4,19	A	4,22	A
Ajifer+Aquamônia+KCl	3,23	A	3,25	A	3,31	A

Médias seguidas por letras maiúsculas similares na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%. DMS = 0,168.

Quando são observadas as perdas de N-NH<sub>3</sub>, estas são provenientes da hidrólise da uréia, devido ao desprendimento NH<sub>3</sub> da solução, quando misturados em meios ou soluções alcalinos.

Foi conduzido por Vitti et al. (2002) experimento em laboratório, em que, os autores observaram que a mistura de 50 % de uréia com 50 % de sulfato de amônio aplicadas conjuntamente ao solo, resultou em menor volatilização de N-NH<sub>3</sub> em relação a outras misturas com menores quantidades de sulfato de amônio e a aplicação exclusiva de uréia sobre o solo. Esses mesmos autores atribuíram a menor perda N-NH<sub>3</sub>, devido ao efeito de controle de elevação de pH e à redução na quantidade de N-amídico proporcionados pela mistura.

Trivelin et al. (1997) avaliaram quimicamente a mistura aquamônia à vinhaça. Os resultados encontrados permitiram estimar que o pH da mistura com adição de 1,00 e 0,80 g L<sup>-1</sup> de N-NH<sub>3</sub> à vinhaça ficaria entre 5,0-5,5 e 4,5-5,0, respectivamente, o que se confirmou pelos resultados experimentais.

No caso do Ajier *in natura*, o pH médio desse produto fica próximo a 3,2 e a acidez titulável a pH 7,0 é de 0,480 mol L<sup>-1</sup> de H<sup>+</sup>.

A vinhaça um resíduo da indústria sucroalcooleira, apresenta pH entre 3,2 e 5,1, apresenta acidez titulável a pH 7,0, na faixa de 0,03 a 0,3 mol L<sup>-1</sup> de H<sup>+</sup> (RODELLA & FERRARI, 1977), portanto, o Ajifer *in natura* e a vinhaça, podem ser utilizados como doadores de prótons para mistura que possam apresentar desprendimento de N-NH<sub>3</sub> devido à adição de N-aquamônia ou N-amídico.

Analisando os dados da tabela 4.1.2.2 observa-se que os produtos que tiveram a adição de uréia ou aquamônia apresentaram pH<7, leve acidez, contribuindo com menores perdas de amônia.

Quando a uréia foi adicionada nessa solução, pode ter ocorrido a hidrólise e transformação da uréia em dois produtos gasosos,  $\text{N-NH}_3$  e  $\text{CO}_2$ , e desses produtos gerados, o gás  $\text{N-NH}_3$  por ser mais reativo que o gás  $\text{CO}_2$ , automaticamente ligou-se aos íons  $\text{H}^+$  e sulfatos ( $\text{SO}_4^{-2}$ ) presente nas soluções formando sulfato de amônio mais água ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ) nessas soluções.

Tabela 4.1.2.2 - Valor médio de pH das misturas nos períodos de 0 hora, 72 horas e 120 horas após as misturas.

Tratamentos	0 hora	72 horas	120 horas
		pH	
Ajifer+Uréia+Vinhaça Conc.	3,42	3,42	3,34
Ajifer+Uréia+KCl	3,30	3,24	3,13
Ajifer+Aquamônia+KCl	5,45	5,41	5,34

## 4.2 Experimento de campo

Na fase (ii) experimento de campo, os resultados encontrados demonstraram que, quando houve a aplicação conjunta do Ajifer *in natura* e N-uréia ou Ajifer *in natura* e N-aquamônia, a % R total (Solo+Palhada) foram maiores que a aplicação N-uréia sobre a palhada, conforme demonstram os resultados na tabela 4.2.1.

Rodella & Ferrari (1977), relatam que há possibilidade de que as perdas por volatilização de amônia sejam reduzidas, caso a uréia venha a ser aplicada juntamente com um doador de prótons. Assim, a vinhaça e o Ajifer podem funcionar minimizando as perdas de N-NH<sub>3</sub>.

Corsi (1994) e Sá (1996), relatam que a cobertura vegetal reduz a velocidade de evaporação da água do solo e aumenta a atividade da enzima uréase, respectivamente, reduzindo ou aumentando as perdas por volatilização da amônia.

Tabela 4.2.1 - Valores médios de % Nitrogênio recuperado (R), nas profundidades 0-10 cm, 10-20 cm e na palha e % R total no solo com palhada.

Tratamentos	0-10		10-20		Palhada		% R Total	
Uréia + KCl	18,78	B	14,88	C	0,25	B	33,90	C
Ajifer+Uréia+Vinhaça Conc.	23,40	A	23,30	BA	1,17	B	47,88	B
Ajifer+Uréia+KCl	18,46	B	32,25	BA	6,90	A	57,60	A
Ajifer+Aquamônia+KCl	21,02	A	31,49	A	1,21	B	53,72	AB
	<i>0-10 cm com palhada</i>		<i>10-20 cm com palhada</i>		<i>Palhada</i>		<i>Recuperação Total</i>	
	DMS 5%: 3,8648		DMS 5%: 7,2806		DMS 5%: 1,4251		DMS 5%: 8,93865	

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%. Para cada coluna segue o DMS dentro de cada profundidade e na palhada.

Os valores apresentados na tabela 4.2.1, apontaram que as aplicações de Ajifer+Aquamônia+KCl e Ajifer+Uréia+KCl, Ajifer+Uréia+Vinhaça Concentrada sobre a palhada, resultaram em 53,72%, 57,60% e 47,88% na % R total (Solo+Palhada) respectivamente, corroborando que o co-produto da fermentação glutâmica pode ser utilizado como atenuador das perdas das fontes de N-amoniacoal ou N-amídica em áreas de colheita mecanizada de cana-de-açúcar sem despilha a fogo, em que, a palhada é grande desencadeador das perdas por volatilização de N-NH<sub>3</sub>, devido a alta atividade urease presente nesse tipo de material.

Os valores de recuperação das fontes nitrogenadas marcadas com 15N foram inferiores a 100% devido a possíveis perdas do N-fertilizante por percolação no solo, influenciado pelas chuvas que ocorreram, especialmente, no fim do experimento (Figura 3.2.1.1). Conseqüentemente, a aplicação da formula com Uréia + KCl sobre a palhada (UKP), demonstraram o valor médio mais baixo de % R total, quando comparados com os demais tratamentos, evidenciando que, a uréia quando aplicada sobre a palhada, mesmo que conjuntamente com KCl e com aplicação de água ou chuva após sua aplicação, sofre perdas significativas de amônia por volatilização não corroborando com a idéia de Rodella & Ferrari (1977).

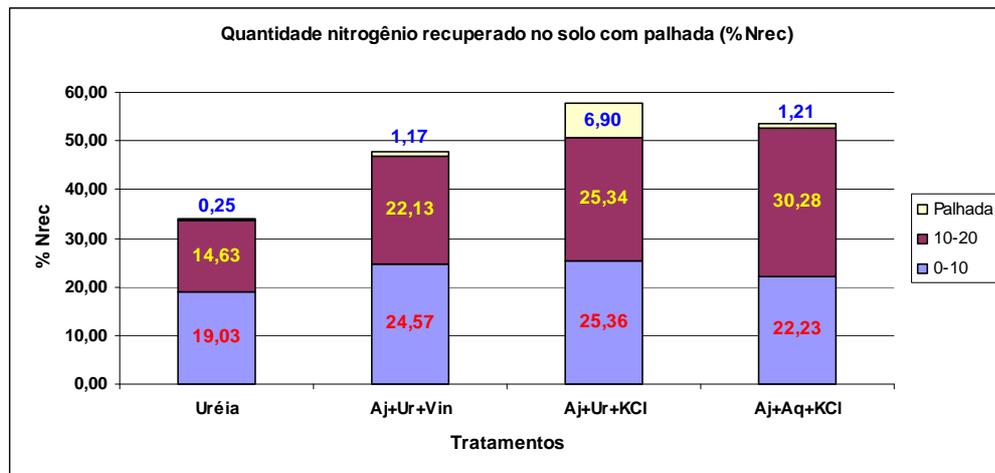


Figura 4.2.2 - Valores médios solo com cobertura da % Nitrogênio recuperado (R) total no solo com palhada.

O gráfico 4.2.2 vem demonstrar que a aplicação da Uréia + KCl em área com colheita mecanizada sem despalha a fogo obteve valor R de 33,90%, evidenciando que a atividade urease nos resíduos culturais presentes no solo faz com as perdas por volatilização ocorram mais intensamente. Não se pode deixar de considerar a ocorrência de chuvas ao fim do experimento (Figura 3.2.1.1) que causaram a percolação do N-fertilizantes como comprovado pelos maiores valores de recuperação na profundidade de 10-20 cm. No entanto, a presença de resíduos culturais sobre a superfície do solo influencia na quantidade de nitrogênio que se perde pela volatilização da amônia, especialmente quando a uréia é aplicada superficialmente (Varsa et al., 1995).

As perdas de N-uréia provenientes da mistura Ajifer + Uréia + KCl aplicado sobre a palhada foram baixas, pois, pela figura 4.2.2, a recuperação do N-uréia na palhada da cana-de-açúcar foi de 6,90%, valor muito alto quando comparado aos demais tratamentos que apresentaram valores de recuperação (R) de nitrogênio nesse

compartimento abaixo 1,21%. Entretanto, quando a mesma mistura foi aplicada sobre o solo sem palhada (Tabela 4.2.3), o valor R foi de 33,06%, estatisticamente igual ao valor R total do tratamento Uréia + KCl aplicado sobre o solo, demonstrando que a palhada da cana-de-açúcar tem grande capacidade de adsorção de N-NH<sub>3</sub> proveniente da volatilização da uréia.

No processo de volatilização da amônia, o acúmulo de resíduos culturais pode exercer acentuada influência, devido à presença da enzima urease nesses resíduos. Essa enzima é responsável pela hidrólise da uréia, que se converte em carbonato de amônio que por sua vez, se converte facilmente em gás amônia (NH<sub>3</sub>), gás carbono (CO<sub>2</sub>) e água (H<sub>2</sub>O), conforme as reações (1) e (2):



A urease é uma enzima extracelular produzida por bactérias, actinomicetos e fungos do solo, estando presente, ainda, em restos vegetais. Devido às características da urease, fatores que promovem ou diminuem a atividade microbiológica, também influenciam na hidrólise da uréia, promovendo grande variação na taxa de hidrólise de diferentes solos (REYNOLDS, WOLF & ARMBRUSTER, 1987).

Contudo, pode se destacado na tabela 4.2.3 que a atividade urease mesmo em solos em que a colheita é realizada com a despalha a fogo, sem os resíduos de palhada em cobertura, as perdas de N-NH<sub>3</sub> são significativas quando se compara a recuperação (R) do nitrogênio aplicado sobre o solo com palhada.

Tabela 4.2.3 - Valores médios de % Nitrogênio recuperado (R) no solo sem palhada, nas profundidades 0-10 cm e 10-20 cm e % R total no solo sem palhada.

Tratamentos	0-10		10-20		% R Total	
			%			
Uréia + KCl	6,94	B	26,14	B	33,08	B
Ajifer+Uréia+Vinhaça Conc.	26,23	A	24,54	B	50,77	A
Ajifer+Uréia+KCl	10,15	B	22,91	B	33,06	B
Ajifer+Aquamônia+KCl	21,53	A	35,93	A	57,46	A
	<i>0-10 cm</i>		<i>10-20 cm</i>		<i>Recuperação Total</i>	
	<i>DMS 5%: 8,1777</i>		<i>DMS 5%: 9,0372</i>		<i>DMS 5%: 6,56682</i>	

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%. Para cada coluna segue o DMS dentro de cada profundidade.

No tratamento em que foi aplicado a Uréia + KCl em relação ao que foi aplicado Ajifer + Aquamônia + KCl, os valores de recuperação (R) de nitrogênio pelo solo foram diferentes, 33,06% e 57,46%.

Os valores de % R total no solo sem palhada apresentados na tabela 4.2.3, apontam que as aplicações de Ajifer + Aquamônia + KCl e Ajifer + Uréia+ Vinhaça Concentrada obteve 57,46% e 50,77% respectivamente, maiores que aplicação de Uréia + KCl e Ajifer + Uréia + KCl sobre o solo sem palhada de cana-de-açúcar.

As recuperações do N-fertilizante nos tratamentos Uréia + KCl e Ajifer + Uréia + KCl em solo sem palhada, na profundidade de 0-10 centímetros demonstraram valores baixos e estatisticamente diferentes quando comparados com os tratamentos Ajifer + Uréia + Vinhaça Concentrada e Ajifer + Aquamônia + KCl.

Destaque-se, comparativamente a esses resultados a capacidade da palhada da cana-de-açúcar em reter o nitrogênio do fertilizante, como verificado no tratamento com aplicação de Ajifer + Uréia + KCl sobre a palhada, em que a recuperação (R) de nitrogênio foi de 57,60%, sendo o R na palhada de 6,90%.

Com isso, os valores de recuperação (R) de nitrogênio de 0-10 centímetros para o tratamento Ajifer + Uréia + KCl e Uréia + KCl para o solo sem palhada foi em

média, 10,15% e 6,94%, enquanto o tratamento com palhada em cobertura foi de 18,46% e 18,78%, estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a nível de 5% de significância.

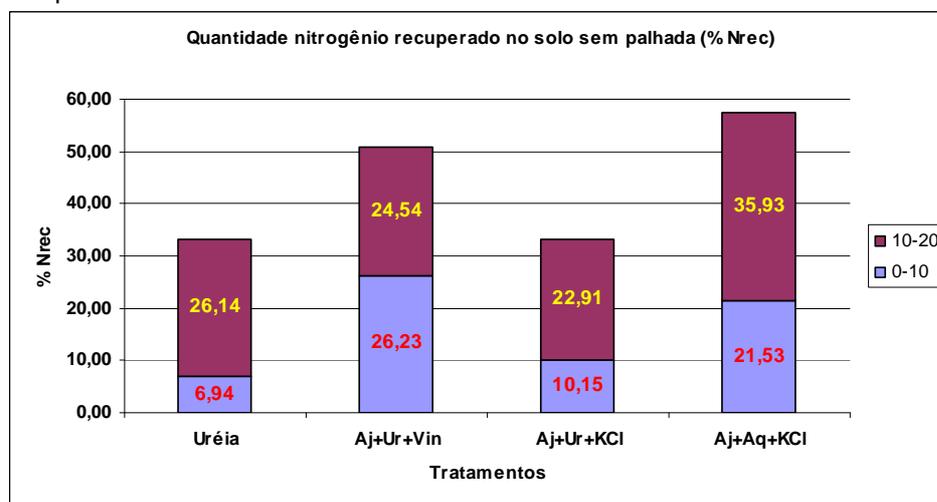
Vitti, Trivelin & Gava, (2007), encontraram valores de recuperação do N dos fertilizantes de 8,3 e 8,5 % presentes na palha residual, respectivamente, para sulfato de amônio e uréia, aplicados em área total. E estes foram semelhantes aos obtidos por Gava et al. (2005), que constataram a recuperação de  $8 \pm 2$  % do N-fertilizante na palha residual ao aplicarem a mistura de vinhaça ( $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) e uréia ( $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de N) em solo de textura argilosa.

Trivelin et al. (2002a), quando aplicaram o fertilizante em profundidade, obtiveram recuperação de  $8 \pm 1$  %. Quando adicionaram uréia (solução concentrada) em área total, após aplicação de vinhaça ou KCl, a recuperação foi maior ( $14 \pm 2,5$  %) em relação à do presente estudo, isto se deveu provavelmente por terem realizado o manejo de irrigação (916 mm) nos períodos de maior estiagem.

Esses valores demonstram que a palhada pode ser uma grande aliada na diminuição das perdas de  $\text{N-NH}_3$  por volatilização na aplicação de N-uréia em profundidade.

Esses resultados confirmam os encontrados por Duarte (2007), que constatou que as perdas de  $\text{N-NH}_3$  foram suavizadas quando a aplicação da uréia foi realizada sob a os resíduos culturais da cana-de-açúcar em relação ao aplicado sobre o solo sem cobertura ou também sob cobertura de resteva de milho, ou de amendoim forrageiro.

Figura 4.2.4 - Valores médios solo sem cobertura da % Nitrogênio recuperado (R) total no Solo sem palhada.



Devido à alta capacidade da palhada da cultura da cana-de-açúcar em reter a amônia, pode-se recomendar a aplicação de fontes nitrogenadas sobre a palhada de cana-de-açúcar, a fim de evitar as perdas por volatilização.

Na tabela 4.2.5 pode-se verificar que as formulações em que continham o N-aquamônia e foram aplicados em solos com palhada ou sem palhada da cana-de-açúcar, resultaram nas maiores recuperação de nitrogênio total (R), sendo estatisticamente iguais.

Tabela 4.2.5 - % Nitrogênio recuperado (R) total entre as diferentes fontes com palhada e sem palhada na cobertura do solo.

Tratamentos	Com palhada			Sem palhada		
	R %			R %		
Uréia + KCl	33,90	A	c	33,08	A	b
Ajifer + Uréia + Vinhaça	47,88	A	b	50,77	A	a
Ajifer + Uréia + KCl	57,61	A	a	33,06	B	b
Ajifer + Aquamônia + KCl	53,72	A	ab	57,46	A	a

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na linha e minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.  
 Coluna DMS = 6,56682.  
 Linha DMS = 6,95326.

Os tratamentos Ajifer + Uréia + KCl e Uréia + KCl aplicados em solo sem palhada de cana-de-açúcar e Uréia + KCl aplicados sobre a palhada de cana-de-açúcar, resultaram em baixa recuperação de nitrogênio, 33,06%, 33,08% e 33,90% respectivamente (Tabela 4.2.5), demonstrando que as fontes amídicas são as mais voláteis.

No tratamento Ajifer + Uréia + KCl, Ajifer + Aquamônia + KCl, Ajifer + Uréia + Vinhaça Concentrada, aplicados sobre palhada, Ajifer + Aquamônia + KCl e Ajifer + Uréia + Vinhaça Concentrada aplicados sobre o solo sem palhada atingiu valores altos de recuperação do nitrogênio total (R), 57,61%, 53,72%, 47,88%, 57,46% e 50,77% respectivamente, demonstrando que o Ajifer ou a Vinhaça Concentrada podem ser utilizados conjuntamente com as fontes de N-amídica ou N-amoniacal para aumentar a recuperação (R) do nitrogênio aplicado no solo, e provavelmente pelas plantas.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente estudo permitem concluir que:

- a) A formulação de fertilizantes líquidos utilizando o Ajifer *in natura* em mistura com as fontes de nitrogênio amídico (Uréia) ou amoniacal (Aquamônia) é viável e apresenta estabilidade física e química, não ocorrendo perda de nitrogênio em até 120 horas;
- b) A formulação contendo Ajifer, Uréia e KCl aplicada sobre a palhada da cana-de-açúcar resultou nas maiores recuperações de nitrogênio da uréia, entretanto quando aplicada em solo descoberto foi menor, como consequência de perdas;
- c) A recuperação do N da Uréia na mistura com Ajifer *in natura* e Vinhaça Concentrada, foi a mesma nas aplicações em solo coberto com palhada da cana-de-açúcar e em solo descoberto;
- d) A palhada da cana-de-açúcar tem grande capacidade de reter  $\text{NH}_4^+$  de fonte amídica quando aplicada sobre palhada de cana-de-açúcar;

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA DOS AGRONEGÓCIOS. **Macrorregião de Piracicaba vai moer 10% mais cana na safra 2006/2007**. São Paulo: APTA, 2006. Disponível em: [http://www.aptaregional.sp.gov.br/artigo.php?id\\_artigo=244](http://www.aptaregional.sp.gov.br/artigo.php?id_artigo=244). Acesso em: 21 fev.2008

BALSADI, O. V.; FARIA, C. A. C.; NOVAES FILHO, R. Considerações sobre a dinâmica recente do complexo sucro-alcooleiro no Estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 26, n. 4, p. 21-29, 1996.

BARRIE, A.; PROSSER, S. J. Automated analysis of light-element stable isotopes by isotope mass spectrometry. In: BOUTTON, W. T.; YAMASAKI, S. (Ed). **Mass spectrometry of soils**. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 1-47.

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

BICHARA, J. M.; AZEVEDO, P. B. M. Fertilizantes fluídos: aspectos técnicos e econômicos de seu desenvolvimento para a cultura de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. **Fertilizantes**, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 10-16, 1988.

BOARETTO, A. E.; CRUZ, A. P.; LUZ, P. H. C. **Adubo líquido**: produção e uso no Brasil. Campinas: Fundação Cargill, 1991. 100p.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Fiscalização Vegetal. Decreto nº 4.954 de 14 de janeiro de 2004. Inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 14 de janeiro de 2004. p. 27.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Fiscalização Vegetal. Instrução Normativa nº 5, de 23 de fevereiro de 2007. Anexo I. Aprova as definições e normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes minerais, destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 23 de fevereiro de 2007. p. 22.

BREMNER J. M. Total nitrogen. In: BLACK, C. A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Part 2- Chemical and microbiological properties. Madison: ASA, 1965. p. 1149-1178. (Agronomy, 9).

RINHOLI, O.; FURLANI, J. A.; SOARES, E.; SERRA, G. Estudo comparativo de formas e doses de nitrogênio na cultura da cana-de-açúcar (soca e ressoça). **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 95, n. 4, p. 30-38, 1980a.

BRINHOLI, O.; NAKAGAWA, J.; MARCONDES, D. A. S.; LIEM, T. H. Estudo comparativo de formas e doses de nitrogênio na cultura da cana-de-açúcar (cana de ano). **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 96, n. 5, p. 60-64, 1980b.

BRINHOLI, O.; MACHADO, J. R.; LIEM, T. H. Estudo comparativo de formas e doses de nitrogênio na cultura da cana-de-açúcar (cana de ano e meio). **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 97, n. 4, p. 232-238, 1981.

CARMELLO, Q. A. de C. Tecnologia da produção e aplicação dos fertilizantes fluídos. In: REUNIÃO TÉCNICA AGRONÔMICA, 1984, São Paulo. **Manejo da adubação na cultura da cana-de-açúcar**. São Paulo: COPERSUCAR, 1984. p. 23-28.

CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. (Ed.). **Ecofisiologia de culturas extrativas**. Cana-de-açúcar, seringueira, coqueiro, dendezeiro e oliveira. Cosmópolis: Stoller do Brasil, 2001. 138 p.

COLETI, J. T. Adubação foliar em cana-de-açúcar. In: BOARETTO, A. E.; ROSOLEM, C. A. (Ed.). **Adubação foliar**. Campinas: Fundação Cargill, 1989. p. 401-415.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Cana-de-açúcar**. Safra 2006/2007 – Segundo levantamento. Brasília, 2006. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/2\\_levantamento\\_cana\\_safra\\_2006\\_07.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/2_levantamento_cana_safra_2006_07.pdf). Acesso em: 21.fev 2008

CORSI, M. Uréia como fertilizante na produção de forragem. In: PEIXOTO, A. M.; MOURA, J. C. de.; FARIA, V. P. de (Ed.). **Uréia fertilizante**. 2. ed. Piracicaba: FEALQ, 1994. p. 239 -267.

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

DUARTE, D. S. A. **Perdas de amônia por volatilização em solo tratado com uréia, na presença de resíduos culturais**. 2007. 64 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

FERNANDES, A. C.; CARMELLO, Q. A. C. Aspectos econômicos da fertilização fluida. In: REUNIÃO TÉCNICA AGRONÔMICA: MANEJO E ADUBAÇÃO NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR, 1984, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Centro de Tecnologia COPERSUCAR, 1984. p. 29-32.

FIGUEIREDO, P.; LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P. **Cana-de-açúcar**. 6. ed. Campinas: IAC, 1995. (Boletim, 200). 1 CD-ROM.

FIXEN, P. E. Fertilizantes fluídos em uma agricultura evoluindo. In: VITTI, G. C.; BOARETTO, A. E. (Ed.). **Fertilizantes fluídos**. Piracicaba: Potafos, 1994. p. 1-30.

FNP CONSULTORIA E COMÉRCIO. **Agrianual 2004**: Anuário de Agricultura Brasileira. São Paulo, 2003. p. 213-240.

FNP CONSULTORIA E COMÉRCIO. **Pesquisa mercadológica de fertilizantes** – 2007. São Paulo, 2006. p. 15.

GAVA, G. J. C.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; OLIVEIRA, M. W. Recuperação do nitrogênio ( $^{15}\text{N}$ ) da uréia e da palhada por soqueira de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 621-630, 2003.

GAVA, G. J. C.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; OLIVEIRA, M. W. Urea and sugarcane straw nitrogen balance in a soil-sugarcane crop system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, p. 689-695, 2005.

INTERNACIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **A guide to the use nitrogen-15 and radioisotopes in studies of plant nutrition**: calculations and interpretation data. Vienna: IAEA, 1983. 63 p. (TECDOC, 288).

JOHNSON, D. Agronomic considerations: A look at some agronomic considerations. Fluidizing urea. Part II. **Solutions**, Manchester, v. 31, p. 47-51, 1987.

KEENEY, D. R.; BREMNER, J. M. Use of the Coleman model 29 A analyser for total nitrogen analysis of soils. **Soil Science**, News Brunswick, v. 104, n. 5, p. 358-363, 1967.

LARA CABEZAS, W. A. R.; KORNDORFER, G. H.; MOTTA, S. A. Volatilização de  $\text{N-NH}_3$  na cultura do milho: I. Efeito da irrigação e substituição parcial da uréia por sulfato de amônio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 481-487, 1997.

LARA CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O.; BENDASSOLLI, J. A.; SANTANA, D.G.; GASHO, G.J. Calibration of a semi-open static collector for determination of ammonia volatilization from nitrogen fertilizers. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 30, n. 3-4, p. 389-406, 1999.

LARA CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O.; KORNDORFER, G. H.; PEREIRA, S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluída de cobertura na cultura de milho, em sistema de plantio direto no Triângulo Mineiro (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 363-376, 2000.

LEITE, R. C. C. **Pró-álcool**: a única alternativa para o futuro. Campinas: UNICAMP, 1987. 86 p.

MAGALHÃES, A. C. N. Ecofisiologia da cana-de-açúcar: aspecto do metabolismo do carbono na planta. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. (Coord.). **Ecofisiologia da produção**. Piracicaba: POTAFOS, 1987. p. 113-118.

MALAVOLTA, E. **Fertilizing for high yield sugarcane**: nutrient and fertilizer management in sugarcane. Basel: IPI, 1994. 104 p. (Bulletin, 14).

MATTIAZO, M. E.; GLORIA, N. A. Da; ROSSETO, R. Adição de resíduos da fermentação glutâmica e seus efeitos na acidificação e lixiviação de N em três tipos de solos. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 6., 1996, Maceió. **Anais...** Maceió: STAB, 1996. p. 461-468.

MATSUOKA, S.; GARCIA, A. A. F.; ARIZONO, H. Melhoramento da cana-de-açúcar. In: BOREN, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2. ed. Viçosa: UFV, 1999. p. 205-251.

MULVANEY, R. L. Mass spectrometry. In: KNOWLESS, R.; BLACKBURN, T. H.; **Nitrogen isotope techniques**. San Diego: Academic Press, 1993. p. 11-57.

PENATTI, C. P.; FORTI, J. A. Adubação nitrogenada em soqueiras de cana-de-açúcar. Resultados preliminares. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 6., 1994, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: COPERSUCAR, 1994. p. 99-104.

PENNA, M. J.; FIGUEIREDO, A. A. M. Aquamônia vs. uréia em soqueiras de cana-de-açúcar fertilizadas com vinhaça. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 2., 1984, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Centro de Tecnologia COPERSUCAR, 1984. p. 180-195.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO - PUC – Rio. **Certificação digital N.º 0212206/CC**. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: [http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0212206\\_04\\_cap\\_04.pdf](http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0212206_04_cap_04.pdf). Acesso em: 21 fev. 2008

PROCANA. Brazilian Sugar and Ethanol Guide, 2007. **Jornal da Cana Informativo**, Ribeirão Preto, p. 177, 2007. RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Potafos/Ceres, 1991. 285 p.

REYNOLDS, C. M.; WOLF, D. C.; ARMBRUSTER, J. A. Factors related to urea hydrolysis in soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 49, p. 104-108, 1987.

RODELLA, A. A.; FERRARI, S. R. A composição da vinhaça e efeitos de sua aplicação como fertilizante na cana-de-açúcar. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 90, n. 1, p. 380-387, 1977.

SÁ, J. C. M. **Manejo do nitrogênio na cultura do milho no sistema de plantio direto**. Passo Fundo: Aldeia Nova Editora, 1996. 23 p.

SILVA, L. C. F.; MARAFON JÚNIOR, J.; BELTRAME, J. A.; ARAGÃO, J. A.; ORLANDO FILHO, J. Adubação fluída em cana-de-açúcar no estado de São Paulo. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 106, n. 3, p. 27-32, 1988.

TERAMOTO, E.R. **Avaliação e aplicação de modelos de estimativa de produção de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) baseados em parâmetros do solo e do clima**. 2003. 85 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2003.

TRIVELIN, P. C. O.; SALATI, E.; MATSUI, E. **Preparo das amostras para análise de  $^{15}\text{N}$  por espectrometria de massa**. Piracicaba: CENA, 1973. 41 p. (Boletim Técnico, 2).

TRIVELIN, P. C. O.; RODRIGUES, J. C. S.; VITÓRIA, R. Aproveitamento pela soqueira da cana-de-açúcar do nitrogênio dos adubos uréia ( $^{15}\text{N}$ ) e aquamônia ( $^{15}\text{N}$ ) incorporados ao solo em área fertilizada com vinhaça. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 3., 1986, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: COPERSUCAR, 1986. p. 287-301.

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.

TRIVELIN, P. C. O.; BENDASSOLLI, J. A.; OLIVEIRA, M. W.; MURAOKA, T. Potencialidade da mistura de aquamônia com vinhaça na fertilização de canaviais colhidos sem despalha a fogo. Parte II: Perdas por volatilização de amônia e recuperação do <sup>15</sup>N aplicado ao solo. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 16, n. 3, p. 23-29, 1998.

TRIVELIN, P. C. O.; OLIVEIRA, M. W.; VITTI, A. C.; GAVA, G. J. C.; BENDASSOLLI, J. A. Perdas de 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.

VALOR ECONÔMICO. **Mecanização alcança 40% da área de cana em SP**. São Paulo, 2008. Disponível em: <http://www.valoronline.com.br/valoreconomico/285/agronegocios/179/Mecanizacao+alcanca+40+da+area+de+cana+em+SP+,,,179,4875381.html>. Acesso em: 11 abr. 2008.

VARSA, E. C.; EBELHAR, S.A.; WICYSKALLA, T.D.; HART, C.D. **Nitrogen placement in no-till corn**. In: NORTH CENTRAL EXTENSION – INDUSTRY SOIL FERTILITY CONFERENCE, 1995, St. Louis. **Proceedings...** St. Louis: Potash & Phosphate Institute, 1995. p. 69-74.

VITTI, A. C. **Adubação nitrogenada da cana-de-açúcar (soqueira) colhida mecanicamente sem prévia**: manejo e efeito na produtividade. 2003. 114 f. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O.; GAVA, G. J. C.; PENATTI, C. P. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada a localização de adubos nitrogenados sobre a palha. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 23, n. 3, p. 6-8, 2005.

VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O.; GAVA, G. J. C.; FRANCO, H. C. J.; BOLOGNA, I. R.; FARONI, C. E. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada à localização de adubos nitrogenados aplicados sobre os resíduos culturais em canavial sem queima. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 491-498, 2007.

VITTI, G. C.; TAVARES, J. E.; LUZ, P. H. C.; FAVARIN, J. L.; COSTA, M. C. G. Influência da mistura de sulfato de amônio com uréia sobre a volatilização de nitrogênio amoniacal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 663-671, 2002.

ZAMBELLO JUNIOR, E.; ORLANDO FILHO, J. A adubação da cana-de-açúcar na região centro-sul do Brasil. **Boletim Técnico Planalsucar**, Piracicaba, v. 3, n. 3, p. 1-26, 1981.

YASUHARA, T.; NOKIHARA, K. High-throughput analysis of total nitrogen content that replaces the classic Kjeldahl method. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 49, p. 4581-4583, 2001.

WOOD, A. W. Management of crop residues following green harvesting of sugarcane in north Queensland. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 20, p. 69-85, 1991.