

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**ASPECTOS NUTRICIONAIS E ADUBAÇÃO NITROGENADA PARA
CANA-DE-AÇÚCAR**

Pedro Henrique Pereira Floriano

Orientadora: Profa. Dra. Mara Cristina Pessôa da Cruz

Trabalho apresentado à Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias - UNESP, Câmpus de
Jaboticabal, para graduação em ENGENHARIA
AGRONÔMICA.

Jaboticabal-SP
1º semestre/2022

F635a

Floriano, Pedro Henrique Pereira

Aspectos nutricionais e adubação nitrogenada para
cana-de-açúcar / Pedro Henrique Pereira Floriano. --
Jaboticabal, 2021

23 p. : il., tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia
Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientadora: Mara Cristina Pessôa da Cruz

1. Adubação. 2. Ciclo do nitrogênio. 3. Cana-de-açúcar. I.
Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CÂMPUS DE JABOTICABAL

DEPARTAMENTO: CIÊNCIAS DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO
TRABALHO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

TÍTULO: Aspectos nutricionais e adubação nitrogenada para cana-de-açúcar

ACADÊMICO: Pedro Henrique Pereira Floriano

CURSO: Engenharia Agrônômica

ORIENTADOR (ES): Profa. Dra. Mara Cristina Pessôa da Cruz

Aprovado e corrigido de acordo com as sugestões da Banca Examinadora

BANCA EXAMINADORA:

	(Nomes)	(Assinaturas)
Presidente	Profa. Dra. Mara Cristina Pessôa da Cruz	
Membro	Dra. Denise de Lima Dias Delarica	
Membro	Dra. Roberta Souto Carlos	

Jaboticabal 09 / 05 / 2022

Aprovação em reunião do Conselho do Departamento em: 09 / 05 / 2022 "Ad. A. F. ..."

Chefe do Departamento
Prof. Dr. Leonardo Bianco de Carvalho
Chefe do Depto. de Ciências da Produção Agrícola
FCAV/UNESP

Aos meus familiares e amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado a oportunidade de fazer minha graduação.

Agradeço aos meus pais por terem me ajudado e dado todo apoio necessário para chegar até aqui; agradeço meus familiares, à minha namorada, e a todos que contribuíram direta ou indiretamente.

Agradeço à minha orientadora Prof^a. Dr^a. Mara Cristina Pessôa da Cruz, por ter me dado todo amparo para realizar meu trabalho.

“Tudo posso Naquele que me fortalece”

Filipenses, 4:13

RESUMO

A cana-de-açúcar é uma cultura presente nas regiões tropicais do mundo e, no Brasil, o Estado de São Paulo se destaca como maior produtor dessa planta, responsável por mais de 50% da produção nacional. Devido à importância dessa cultura para a região, é necessário que se adote o melhor manejo possível, a fim de aumentar ainda mais a produção. O manejo nutricional do canavial é um excelente aliado para obter aumento de produtividade, em especial a adubação nitrogenada, que pode trazer acréscimos de produção variando de 20 a cerca de 40%. O objetivo com esse trabalho foi agregar informações de forma resumida, simplificada e atualizada sobre a nutrição e a adubação nitrogenada para cana-de-açúcar. O levantamento das informações foi feito na base de dados Google Acadêmico usando as palavras-chave cana-de-açúcar, nitrogênio, nutrição e adubação, e foi restrito ao período 2002 a 2022. Entre os aspectos mais importantes abordados no texto tem-se que, nas plantas, o N apresenta funções estruturais e é componente de enzimas, sendo muito importante para a produtividade. Atualmente, a ureia é o adubo mais usado, e deve ser utilizado seguindo as recomendações técnicas, em função da meta de produtividade, para o melhor manejo da área. No Estado de São Paulo, a recomendação de adubação para cultura está publicada no Boletim Técnico 100, que teve sua última edição em 1996, e nela constam 30 kg ha⁻¹ de N no plantio e 60 a 90 kg ha⁻¹ em cobertura. Para a cana-soca, as doses variam entre 60 e 120 kg ha⁻¹, considerando um intervalo de produtividades de 60 a 100 t ha⁻¹ de colmos.

Palavras-Chave: Metabolismo, nutriente, *Saccharum*

ABSTRACT

The sugar cane is a culture present on the tropical regions of the world, and in Brazil, the São Paulo state stands out as the biggest producer of this crop. It is responsible for more than 50% of the national production. Due to the relevance of this culture to the region, it is necessary to adopt the best management possible, with the intent to increase even more the production. The nutritional management of the sugar cane crop is the best ally to achieve the increase in productivity, particularly the nitrogen based fertilizing, which can bring the additional productivity, varying 20% and 40%, approximately. The objective of this essay was to gather information in a summarized way, updated and simplified, about the nitrogen based fertilizing of the sugar cane. The gathering of the information was made with the data available on the Google academy platform, utilizing the following keywords: sugar cane, nitrogen, nutrition and fertilizing. The search was restricted to the 2002-2022 period. Among the most relevant aspects addressed within the text, it is regarded that the nitrogen, in the plants, presents structural functions and is one of the components of the enzymes, constituting its relevance in productivity. Nowadays, urea is the most used fertilizer, and it must be used according technical parameters, due to the productivity goal, looking for the best management of the area. In São Paulo state, the recommendation of fertilizing for the culture is published in the technical bulletin n°100, which its last edition was published in 1996, and it contains 30 kilograms/ha-1 of nitrogen on the planting and 60 to 90 by ha-1 in coverage. To the harvested sugar cane, the doses varies between 60 to 120 kilograms/ha-1, considering the productivity gap of 60-100 tons to ha-1 of thatch.

Keywords: Metabolism, nutrient, *Saccharum*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL E ESTRATÉGIAS PARA AUMENTO DE PRODUTIVIDADE.....	11
3. NITROGÊNIO E O METABOLISMO DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	14
4. ADUBOS NITROGENADOS COMUMENTE UTILIZADOS.....	22
5. ADUBAÇÃO NITROGENADA E PRODUTIVIDADE	24
6. METODOLOGIA DA PESQUISA	26
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	26
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma planta cultivada em diversas partes do mundo e, em especial, no Brasil. A cultura está presente em diversos estados, mas o Estado de São Paulo se destaca por ser o maior responsável pela produção dessa cultura. Os produtos derivados da cana, como o açúcar, o etanol, a energia elétrica, o biogás, a rapadura e a cachaça, são totalmente utilizados pelas mais diversas áreas de consumo. Com isso, uma enorme quantidade de investimentos, tanto monetários, quanto científicos, vêm sendo cada vez mais injetada no setor canavieiro.

No quesito produção de cana-de-açúcar, um dos fatores mais importantes é o manejo correto da cultura e, nesse contexto, um fator de altíssima interferência é a adubação, em especial a nitrogenada, que será tratada nesse trabalho.

Para o uso correto das técnicas agrícolas de aplicação de nitrogênio visando a maior produção da planta, é necessário o domínio de informações sobre a cultura da cana-de-açúcar, como comportamento das plantas em relação a certos nutrientes, adubação e manejo.

A presente pesquisa visa apresentar dados sobre a adubação nitrogenada na cultura da cana-de-açúcar publicados em revisões bibliográficas de autores no período compreendido entre 2000 e 2022, como Trivelin (2000); Malhi et al. (2001); Vitti et al. (2007); Dalri e Cruz (2008); Franco (2008); Prado (2008) e Castro (2016), além de artigos científicos de vários autores, e compilar esses dados de maneira objetiva, buscando esclarecer ao leitor de maneira simplificada e resumida alguns processos e conhecimentos necessários para realizar o melhor manejo possível dessa cultura, que possui grande importância no mercado agrícola do Estado de São Paulo e do Brasil.

2 CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL E ESTRATÉGIAS PARA AUMENTO DE PRODUTIVIDADE

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é cultivada em diversas regiões do mundo, em especial nas regiões tropicais e subtropicais, com o propósito de produção de açúcar e etanol, da qual resultam os subprodutos palha e bagaço, que são utilizados para a obtenção de energia elétrica.

De acordo com Conab (2021), a safra de cana-de-açúcar no Brasil em 2021/2022 aponta estimativas de diminuição da produção em comparação à colheita passada. A projeção atual é que 592 milhões de toneladas sejam colhidas até o final da safra, o que representa diminuição de 9,5% no total de cana colhida quando comparada aos anos anteriores (CONAB, 2021). Na safra de 2020/2021 foram colhidas 654,8 milhões de toneladas, o que corresponde a 1,8% a mais do que foi produzido nos anos de 2019/2020 (CONAB, 2021).

A região Sudeste do Brasil é a principal produtora de cana-de-açúcar, com sua produtividade distribuída por toda a região, mas com maior concentração da produção no Estado de São Paulo (CONAB, 2021).

Na região Sudeste foram colhidos 428,6 milhões de toneladas de cana-de-açúcar na safra 2020/2021, 3,3% a mais em relação à 2019/2020 (CONAB, 2021). Dentre os Estados que constituem a região, São Paulo é o principal responsável pela produção, sendo o Estado que apresentou o maior valor médio de colheita dos anos de 2005 a 2021, com aproximadamente 300 mil toneladas, seguido por Minas Gerais, com média de aproximadamente 50 mil toneladas por ano (CONAB, 2022a).

Na safra de 2020/2021, o Estado de São Paulo chegou à produção de 354.288,4 mil toneladas, o que representa 54,1% do rendimento nacional de cana-de-açúcar (CONAB, 2022b). Em análise das séries históricas fornecidas por CONAB (2022b), o Estado de São Paulo apresentou produção de 265.543,3 mil toneladas na safra 2005/2006 e de 354.288,4 mil toneladas na safra 2020/2021, com a máxima produção de 372.805,9 mil toneladas na safra 2013/2014 e a mínima nos anos de 2005/2006 (CONAB, 2021). Em relação à área colhida, nos anos de 2005/2006 ela foi de 3.146,6 mil hectares e 4.444,2 mil hectares na safra 2020/2021, com pico de

4.773,2 mil hectares em 2016/2017 e máximo declínio de 3.9146,6 mil hectares em 2005/2006 (CONAB, 2021) (Figura 1).

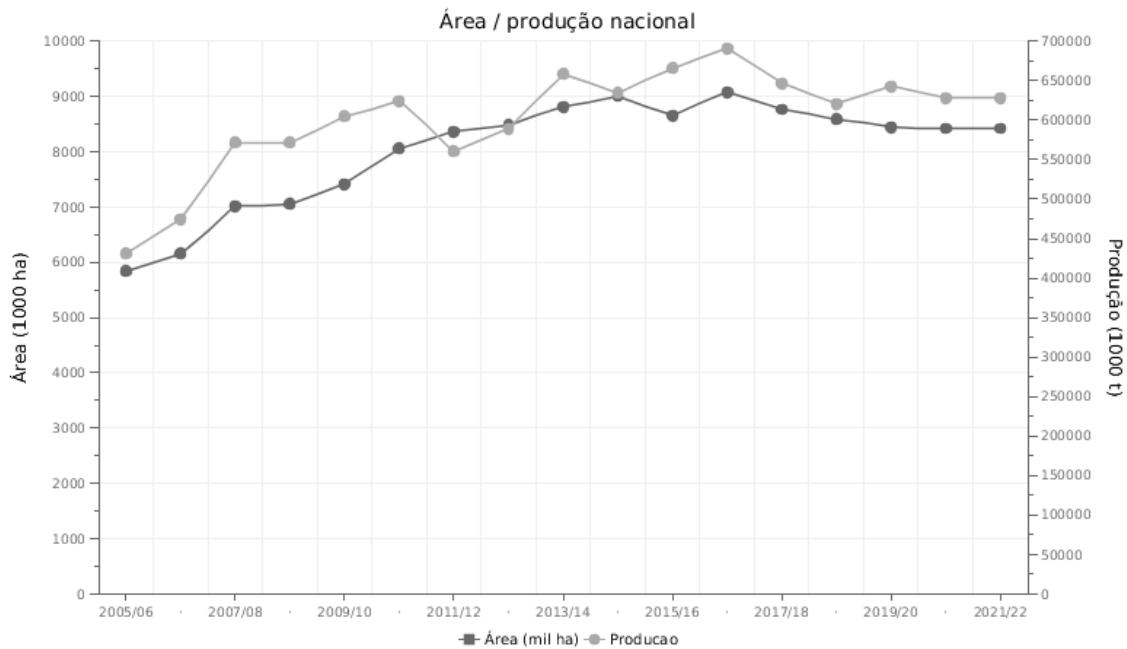


Figura 1. Evolução da área cultivada e da produção de cana-de-açúcar no Brasil, de 2005/2006 até 2021/2022. Fonte: CONAB (2021).

Em relação à produtividade (Figura 2), a safra de 2005/2006 apresentou certo crescimento, que se manteve até 2007/2008, quando houve estabilização da produtividade e, depois, em 2009/2010, observa-se queda acentuada que se estendeu até 2011/2012. Esse período de produtividades menores foi explicado pela colheita de áreas mais antigas, pelo menor crescimento das plantas em decorrência das condições climáticas da época e, também, devido à colheita de áreas de cana mais velhas que não puderam ser colhidas na safra anterior. Dos anos de 2011 até 2013 se observa evolução de produtividade, que diminuiu novamente na safra de 2014/2015 devido à uma estiagem mais severa (CONAB, 2014), e foi seguida por

aumento em 2015/2016, por leve declínio até os anos de 2018/2019 e, depois, por aumento e estabilização em 2019/2020 (Figura 2).



Figura 2. Evolução da produtividade de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, no período compreendido entre as safras 2005/2006 a 2020/2021. Fonte: Adaptado de CONAB (2021).

Através de estudos de Castro (2016), pode-se constatar que a cultura apresenta alta variação na produtividade em relação aos mais diversos fatores, como genética, ambiente e solo, dentre outras. Porém, alguns fatores podem ocasionar maior impacto na cultura, como a irrigação e a adubação, por exemplo.

Ng Kee kwong et al. (1994), Singh e Mohan (1994), Trivelin (2000), Malhi et al. (2001), Thorburn et al. (2003) e Franco (2008) descreveram que há muita divergência de resultados no que diz respeito à adubação nitrogenada em função da ocorrência ou não de déficit hídrico.

No manejo de irrigação preenchendo 100% da evapotranspiração da cultura, foram obtidos, em média, 66 Mg ha⁻¹ de colmos sem utilização de adubação nitrogenada, 77 Mg ha⁻¹ utilizando 100 kg ha⁻¹, e 90 Mg ha⁻¹ com doses de 200 e 300 kg ha⁻¹ de N (Singh e Mohan, 1994). Ng Kee Kwong e Deville (1994) também constataram que o tratamento fertirrigado na cana-de-açúcar foi 113% mais produtivo que a testemunha (sem irrigação e sem adubação), e Gava et al. (2015) obtiveram resposta de produtividade com aplicação de doses acima de 200 kg ha⁻¹ de N para

cana-planta irrigada, enquanto a máxima resposta ocorreu com aplicação de 80 kg ha⁻¹ de N na condição sem irrigação (Figura 3).

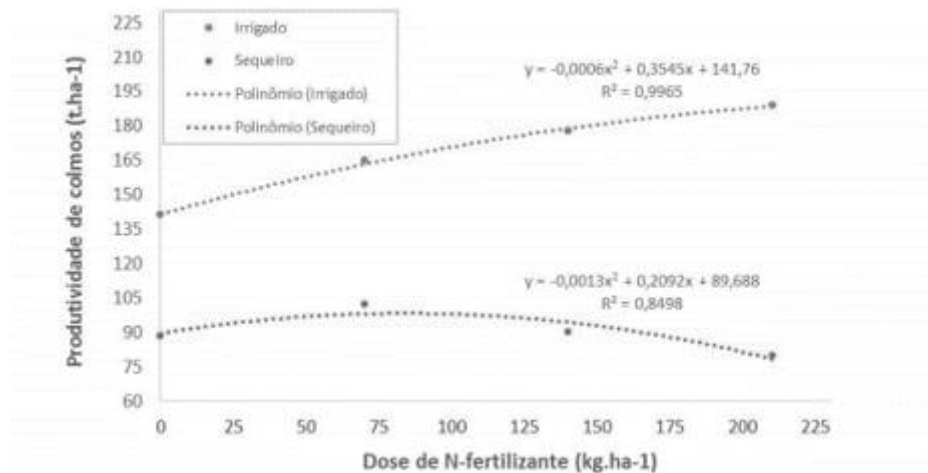


Figura 3. Produtividade de colmos de cana-de-açúcar no primeiro ciclo de crescimento em diferentes doses de N-fertilizante e em duas condições hídricas contrastantes. Fonte: (Adaptado de Gava et al., 2015)

A adubação da cana-de-açúcar no Brasil é muito difundida e, de acordo com Weber et al. (2001), a fertilização da planta pode possibilitar incremento de até 53,9% na produtividade das lavouras de terceira soqueira e até 76,2% em quarta soqueira. Seguindo a mesma tendência, foi observado por Dalri e Cruz (2008), que a adubação aumenta a produtividade em valores de 43,5% em segundo corte e 67,2% em terceiro corte. Sendo o N o nutriente que mais frequentemente limita a produção da cultura, vale ressaltar que a parcela de aumento na produtividade devida à adubação nitrogenada chega a 36%, de acordo com Weber et al. (2001), 27,5% para Román et al. (2015), e varia de 20 a 30% de acordo com Vitti et al. (2007), tendo assim, significativa relevância no cenário de produção agrícola do setor canavieiro no Brasil.

3 NITROGÊNIO E O METABOLISMO DA CANA-DE-AÇÚCAR

Na natureza, o nitrogênio é um elemento que está concentrado na atmosfera, representando 78,3% dos gases. A atmosfera é um reservatório quase infinito de N, pois além da imensa reserva que possui, ainda existem processos como a desnitrificação, que constantemente devolvem o N à forma gasosa. Na atmosfera, o

sem ela, o transporte do N até as raízes das plantas se faz de forma diminuída, decrescendo assim, a quantidade do nutriente absorvido pela planta (PRADO, 2008).

O N pode ser absorvido em várias formas, mas predominam N-nítrico e N-amoniacoal [nitrato, (NO_3^-), e amônio, (NH_4^+)], sendo a forma amoniacoal mais absorvida quando comparada à nítrica, em ambientes com concentrações semelhantes dos dois íons. Isso ocorre, possivelmente, porque a metabolização de N amoniacoal não acarreta gasto energético direto para a planta. Entretanto, em condições naturais, foi observada inversão nesse comportamento, e o N em forma nítrica apresenta maior taxa de absorção quando comparado à forma amoniacoal, devido principalmente à maior concentração de nitrato na solução do solo (PRADO, 2008).

A absorção do N nítrico pelas plantas pode ser interessante porque ele pode ser armazenado nas células, ao contrário do N amoniacoal, que apresenta certa toxicidade. Quando o NH_4^+ é absorvido pelas plantas, há liberação de prótons H^+ para o exterior das raízes, acidificando a rizosfera. No caso do NO_3^- , após a absorção a planta irá retirar H^+ da solução do solo, deixando o meio com pH mais elevado. Tais ocorrências se dão pelo fato de a planta sempre “buscar” a neutralidade elétrica no interior de suas células (PRADO, 2008).

Todavia, ainda existem alguns aspectos únicos para o N, como o efeito direto do pH, uma vez que grande quantidade H^+ ou de OH^- pode inibir a absorção de nitrato e amônio. Ou seja, é importante que o solo apresente valores adequados de pH que não dificultem a absorção de N pela planta (PRADO, 2008), mas a melhor relação entre as formas de N varia com a idade, a espécie vegetal e o potencial hidrogeniônico médio de evolução da cultura (HAYNES e GOH, 1978).

Outro fator que pode afetar a capacidade de absorção do N pelas plantas é a idade da raiz, e quanto mais velhas as plantas, menor é a capacidade de absorção, devido ao fato de as raízes apresentarem maior lignificação das células, dificultando o processo de passagem do N pelas membranas celulares. Por fim, mas não menos importante, a absorção do N pode ser também afetada pela presença ou não de outros nutrientes como o potássio e o fósforo, por exemplo, que quando presentes podem aumentar a absorção do N pela planta. (PRADO, 2008).

No que diz respeito ao transporte na planta, o N pode ser translocado de várias formas, o que depende da forma absorvida (nitrato ou amônio) e da situação

metabólica das raízes (Figura 5). Em linhas gerais, o N é um nutriente de alta mobilidade na planta, o que significa que a planta pode movê-lo de “um lado para o outro” de acordo com sua necessidade momentânea, e ele somente pode ser redistribuído pela planta na forma de N-aminoácidos, pelo vaso condutor floema.

O amônio absorvido é, em grande maioria, assimilado no próprio sistema radicular da planta. O nitrato, por sua vez, pode ser metabolizado pelo sistema radicular, ou estocado nas células, ou ainda transportado para as folhas da planta na forma absorvida (MENGEL e KIRKBY, 1987). Com isso, em certas plantas, o nitrato absorvido precisa passar por um processo de redução, que é feito através da enzima redutase de nitrato. Essa enzima pode estar presente tanto nas raízes, quanto na parte aérea, variando de posição conforme a espécie vegetal. No caso da cana-de-açúcar, a redutase concentra sua atividade, na maioria das vezes, na parte aérea do vegetal (PRADO, 2008).

Vale ressaltar que, de forma geral, na literatura consta que espécies vegetais de clima temperado e com baixos teores de nitrato na solução do solo, geralmente concentram a enzima redutase de nitrato nas raízes, fazendo então a redução desse nitrato absorvido na própria raiz para ser posteriormente transportado para a parte aérea na forma de amônio. Em espécies de clima tropical, por sua vez, a redução do nitrato geralmente tende a acontecer na parte aérea das plantas, sem ter a dependência de concentração do íon no meio externo. Dessa forma, o transporte do nutriente é realizado na mesma forma absorvida (NAMBIAR et al., 1988).

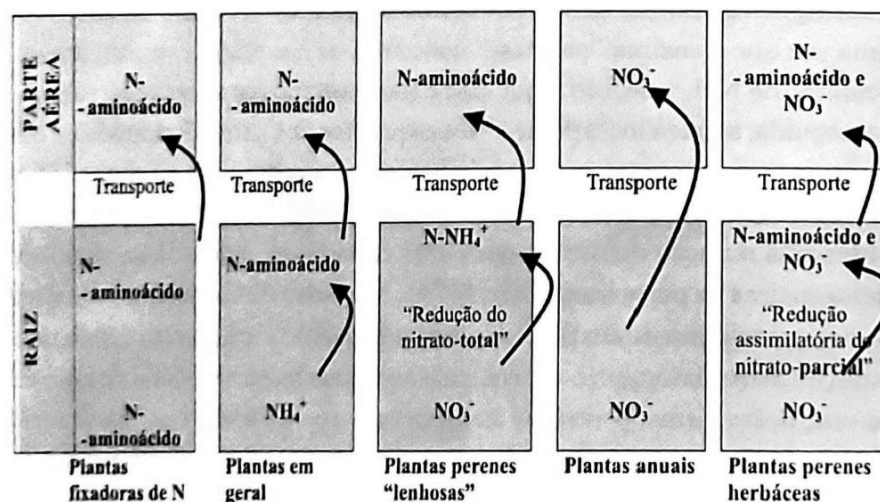


Figura 5. Formas de absorção e transporte de N segundo o grupo de espécies considerado. Fonte: (PRADO, 2008).

Após ser absorvido, mas antes de poder desempenhar suas funções no vegetal, o N na forma de nitrato precisa passar por um processo metabólico chamado de “redução assimilatória do nitrato”, que transforma o nitrato em amônia por meio da ação de enzima redutase de nitrato, uma vez que o N pode participar do metabolismo do vegetal na forma de amônia. Após reduzido, o N na forma de amônia ou amônio precisa ser rapidamente transportado ou assimilado, uma vez que, nessa forma, pode causar toxicidade às plantas (PRADO, 2008).

O processo de incorporação do N na forma de N-amoniacal a compostos orgânicos, ocorre por duas vias: a via da desidrogenase glutâmica (GDH), e a via GS – GOGAT, sendo a segunda via a forma preferencial das plantas para a incorporação do N-amoniacal em aminoácidos (HEWITT e CUTTING, 1979). Com isso, Magalhães et al. (1990), chegaram à conclusão de que uma vez que é feita a aplicação de N – amoniacal ou nítrico, a glutamina é o primeiro produto formado pelas plantas, explicando assim, a preferência do vegetal pela via GS – GOGAT.

Em plantas com excesso de amônia, a forma da GDH se torna a mais importante, devido ao fato de que ela acelera o processo de respiração de carboidratos na planta para que estes sejam consumidos para se formar uma maior quantidade de radicais ácidos que assim irão incorporar o NH_4^+ , formando assim, aminoácidos, em sua grande maioria. Além dos aminoácidos, o N também pode fazer parte de vários compostos orgânicos. Também vale ressaltar que os aminoácidos “fabricados” pelo processo de metabolização do N podem atuar como um sistema hormonal da planta, e controlar funções como o seu crescimento (LAM et al., 1996).

Com isso, pode-se perceber que o N apresenta, principalmente, funções estruturais, como se observa na Tabela 1. Tem grande importância na constituição da clorofila e é encontrado na planta em grande parte na forma orgânica (90%). Assim, o aumento no teor de N nas plantas aumenta a concentração de moléculas de clorofila, portanto, aumenta grandemente o crescimento e desenvolvimento do vegetal (PRADO, 2008).

Tabela 1. Resumo das principais funções do nitrogênio nas plantas.

Estrutural	Constituinte de enzimas	Processos
Aminoácidos e proteínas	Todas	Absorção iônica
Bases nitrogenadas e ácidos nucléicos		Fotossíntese
Enzimas e coenzimas		respiração
Vitaminas		Multiplicação e diferenciação celulares
Glico e lipoproteínas		Herança
Pigmentos (clorofila)		Clorofila

Fonte: (MALAVOLTA et al., 1997).

Se o N absorvido for insuficiente, ou se estiver em excesso em relação à exigência da planta, ela poderá apresentar sintomas visuais. No caso de deficiência, ela poderá manifestar amarelecimento das folhas mais velhas, necrose devido ao agravamento do sintoma, diminuição do ângulo de inserção das folhas, queda das folhas muito antecipadamente, diminuição do perfilhamento e redução da produção (Figura 6). Ao nível celular podem ocorrer elevação na pressão osmótica e nos níveis de açúcares, e diminuição dos cloroplastos. O amarelecimento das folhas mais velhas é o sintoma mais comum no caso de a planta apresentar deficiência de N, e tal clorose se dá devido à falta de clorofila, que não será mais sintetizada na folha, ou será degradada pela própria planta. Estes processos são responsáveis por causar o amarelecimento, e ocorrem para liberar o N contido ou que estava destinado às partes velhas da planta para suprir a deficiência nas folhas mais novas.

Em relação aos excessos, alguns sintomas são: coloração verde-escuro, folhagem exuberante, maturação atrasada, acamamento, sistema radicular apresentando pouca evolução, tecidos com maior teor de suculência. No caso da cana-de-açúcar, o excesso do nutriente é responsável pela diminuição no teor de sacarose da planta (PRADO, 2008).



Figura 6. Deficiência de nitrogênio em cana-de-açúcar, em que se observam clorose e perfilhamento reduzido. Fonte: <https://www.yarabrasil.com.br/nutricao-de-plantas/cana/deficiencias-cana/deficiencia-de-nitrogenio-cana/>, acesso em 17-04-2022.

Quando há excesso na aplicação de adubos nitrogenados no solo, podem ainda ocorrer problemas com o efeito de salinidade, podendo “queimar” a planta. Ainda, devido à alta mobilidade no N no solo, ele pode lixiviar e causar diversos danos ao ambiente ao atingir o lençol freático (PRADO, 2008).

Outro aspecto relevante na nutrição nitrogenada é a exigência nutricional da cultura, que significa o total de nutrientes que a planta acumula durante seu processo produtivo. Para a contabilização dessa exigência é preciso considerar o nutriente que a planta toda absorveu e não somente o que acumula na parte que é colhida. Assim, $EN (kg ha^{-1}) = \text{Teor do nutriente na planta (\%)} \times \text{matéria seca da planta inteira (kg ha}^{-1})$. Em linhas gerais, o aumento da produção de qualquer cultura acarretará no aumento da exigência nutricional do vegetal. Porém, o aumento da quantidade acumulada de nutrientes não significa que a planta possui maior ou menor eficiência, como observado por Machado (2001), que ressalta que organismos híbridos podem

ter maior desenvolvimento e produção em ambientes com menor quantidade de certo nutriente, ou seja, vegetais com alta concentração do nutriente podem não ser tão produtivos quanto algumas espécies híbridas. De acordo com Malavolta et al. (1997), existe variação na quantidade total de N exigido pelas plantas, e no caso da cana-de-açúcar, ela precisa de 1,5 kg de N para a produção de uma tonelada de colmos. Assim, espera-se que cada vegetal/cultura tenha uma exigência nutricional específica para seu desenvolvimento/produção. Na Tabela 2 tem-se a exigência da cultura da cana-de-açúcar.

Tabela 2. Exigência de nitrogênio pela cultura da cana-de-açúcar.

Cultura	Parte da planta	Matéria seca t ha ⁻¹	N acumulado		N requerido kg t ⁻¹
			Parte da planta kg ha ⁻¹	Total	
Cana-de-açúcar	colmos	100	90	150	1,5
	folhas	25	60		

Fonte: Malavolta et al. (1997).

O conhecimento da exigência nutricional da cultura é fornece uma diretriz importante para o manejo nutricional da área. As últimas pesquisas realizadas acerca do tema são, em grande maioria, anteriores ao ano de 2010 e, com isso, Otto et al. (2019), realizaram uma atualização das informações sobre exigências culturais da cultura na cana-de-açúcar. Através de um estudo bibliográfico extenso e diversas comparações, Otto et al. (2019) chegaram à conclusão que os resultados mais antigos apresentaram uma pequena divergência de 0,83 kg por tonelada de colmos em relação ao resultado dos estudos mais recentes em relação ao N. Apesar de não haver grandes variações na exigência de N, os valores para P, K e B tiveram um significativo aumento, demonstrando que é necessário o uso correto e atualizado de dados sobre exigência nutricional, para o manejo aprimorado da adubação da área (OTTO et al., 2019).

4 ADUBOS NITROGENADOS COMUMENTE UTILIZADOS

A alta produtividade das lavouras está diretamente relacionada com o manejo, e a adubação é um tópico de enorme importância. No assunto adubação nitrogenada, muitas variáveis implicam diretamente na disponibilidade do nutriente, em especial a influência que o nutriente sofre, principalmente da microbiota do solo, ao ser adicionado à área. De acordo com estudos de Otto (2016), somente 28% do nitrogênio encontrado nos tecidos do vegetal é oriundo da adubação nitrogenada, e os outros 72% são derivados de outras fontes, como a mineralização da matéria orgânica do solo, a fixação biológica de N_2 e a deposição atmosférica de N.

Apesar da participação relativamente pequena da adubação, ela é responsável por ganhos de produtividade importantes. A adubação deve ser feita da maneira mais assertiva e estratégica possível, uma vez que a fertilização, em especial a nitrogenada, apresenta altos potenciais de perda, pelas mais diversas formas. Outro fator importante é fazer o correto manejo da área para tentar elevar a participação do adubo industrial na liberação de formas que serão absorvidas pelas plantas. Os principais adubos responsáveis por elevarem os teores de N no solo na cultura da cana-de-açúcar são a ureia, o sulfato de amônio e o nitrato de amônio (CHB AGRO, 2021).

A ureia é o fertilizante mais utilizado na adubação nitrogenada das mais diversas culturas, em todo o mundo, e na cultura da cana-de-açúcar não se faz diferente, sendo o adubo mais amplamente utilizado pelos produtores de cana do Brasil. O fertilizante é, dentre os três mais utilizados, o que possui a maior concentração de N. Outra característica importante do adubo industrial, é que o mesmo libera N na forma amoniacal, ou seja, nessa forma o nutriente está prontamente disponível à assimilação pela planta. Seu custo o torna muito atraente aos produtores frente aos adubos orgânicos, porém existem alguns cuidados necessários para que o adubo seja utilizado da forma mais eficiente possível. A ureia apresenta grande facilidade de perda do nutriente através da volatilização de NH_3 através da ação da enzima urease, e esse processo chega a consumir grandes quantidades do adubo, fazendo-o perder rendimento (LARA CABEZAS et al., 1999; TRIVELIN et al., 2002). Para diminuir essas perdas, algumas estratégias devem ser adotadas a fim de aumentar o rendimento da aplicação. A utilização deve ser feita de

maneira que se incorpore o adubo ao solo (diminuindo perdas para a atmosfera), a aplicação deve ocorrer antes de períodos chuvosos (menor ação da urease em baixa umidade e incorporação da ureia em profundidade antes da conversão em NH_3), e deve-se aplicar a dose correta. Outra estratégia que pode ser utilizada é fazer o recobrimento dos grãos do adubo industrial com inibidor de urease, porém, esse inibidor aumenta o custo e é pouco utilizado no Brasil (TASCA et al., 2011).

O sulfato de amônio é um adubo nitrogenado que possui em sua composição dois macronutrientes, o N em forma de NH_4^+ e o enxofre na forma de SO_4^{2-} , e se comparado à ureia, apresenta custo mais elevado. Possui como principal vantagem, a menor taxa de perdas do nutriente para a atmosfera através da volatilização, o que proporciona a possibilidade de aplicar o produto sem a necessidade de incorporar devido à sua menor volatilização, o que é de grande valia para a cultura da cana que, uma vez implantada, permite apenas aplicações superficiais. Tal vantagem também possibilita uma outra estratégia de adubação que é a realização da aplicação durante todo o ano, ao contrário da ureia que pode ser adicionada ao solo com mais eficiência na estação das chuvas. Um grande problema do uso do sulfato de amônio é a acidificação dos solos, uma vez que ao ser adicionado à área, ele dissolve, gera NH_4^+ em solução, o qual passa pelo processo de nitrificação através das bactérias *Nitrobacter* e *Nitrossomonas* que liberam íons H^+ na solução, causando a diminuição do pH da área, e também nesse processo, a forma resultante, o NO_3^- , apresenta altas taxas de lixiviação (LARA CABEZAS et al., 1999).

Por último, mas não menos importante, o nitrato de amônio. Este adubo possui o N em suas duas formas absorvidas pela cultura, NO_3^- e NH_4^+ , apresenta baixo potencial de perda por volatilização, mesmo quando aplicado sobre a palhada presente no solo. É uma ótima opção para o produtor que usa a estratégia de adubação fora do período chuvoso. No entanto, a forma nítrica, como já comentado, apresenta certa facilidade em lixiviar no solo e, ainda, para ser absorvido pela planta, há um gasto energético, uma vez que o NO_3^- precisa ser metabolizado para depois passar pelo processo assimilatório. Se comparado à ureia, esse fertilizante é de maior custo, o que se torna necessária uma análise econômica e estratégica do manejo da adubação na área (ARAÚJO, 2004).

5 ADUBAÇÃO NITROGENADA E PRODUTIVIDADE

Os produtores que trabalham com o cultivo da cana-de-açúcar, seja nas usinas ou em fazendas particulares, têm o conhecimento de que se a adubação nitrogenada não for realizada na cana-de-açúcar da forma correta, e no período certo, a safra do ano decorrente não sentirá muito os efeitos, mas esses efeitos serão apresentados nos outros anos, tendo implicações em toda a produtividade e longevidade do canavial. Orlando Filho et al. (1999), constataram que a adubação nitrogenada na cultura da cana, além de resultar em maior produtividade da safra, acarreta também aumento no vigor das soqueiras e aumento de produção nos cortes posteriores, quando comparada a uma cana não adubada. Com isso, pode-se notar que ao realizar o manejo da área de maneira inadequada, o produtor poderá perder produção e longevidade do canavial, sofrendo conseqüentemente diminuição no número de cortes entre as reformas.

Em relação às doses de N, Vitti et al. (2007) observaram divergência de 100% na produção de colmos na segunda soca na safra 1999/2000 entre a testemunha, não adubada, e o tratamento em que se foi aplicado a maior dose do nutriente (175 kg ha^{-1}). Na safra posterior, aplicando quantidade fixa do adubo para todos os tratamentos, a resposta diminuiu de 100% na segunda soca para 50% na terceira soca, apresentando certa linearidade nas respostas às aplicações do nutriente na safra anterior, com diferença de produtividade de 67 t ha^{-1} frente à testemunha, que é um valor de alta significância.

Como citado anteriormente, os maiores valores de produtividade da cana-de-açúcar são expressos nas safras seguintes ao plantio, as quais apresentam seu maior potencial produtivo. É nesse momento que a adubação deve ser feita, visto que nos anos seguintes, o vigor da soqueira diminui e se agravam problemas como compactação, doenças e pragas, o que foi comprovado por Orlando Filho et al. (1999). Outro aspecto a ser considerado, observado por Chapman et al. (1983), é que para produzir da mesma forma que a cana-planta, as soqueiras demandam maior quantidade de N, uma vez que as reservas de N no solo vão diminuindo no decorrer do ciclo da cultura.

A recomendação de aplicação de fertilizantes nitrogenados se dá, na maior parte das vezes, através das tabelas de adubação publicadas em cada estado da federação, como o Boletim Técnico 100, do Estado de São Paulo. Nesses boletins estão contidas informações sobre quantidades de nutrientes a serem aplicados na área frente à produtividade desejada pelo produtor, porém, com o decorrer do tempo, esta recomendação pode sofrer alterações, como pode-se perceber comparando a tabela de adubação da cana de 1996 com a tabela de adubação atual (Tabela 3), ainda em fase de preparo e publicação (Tabela 4).

Tabela 3. Recomendação de adubação N, P e K para soqueiras de cana-de-açúcar ainda em uso no Estado de São Paulo, publicada em 1996.

Produtividade esperada	N	P (resina – mg dm ⁻³)		K ⁺ (mmolc dm ⁻³)		
		0-15	>15	0-1,5	1,6-3,0	>3,0
(t ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)		K ₂ O (kg ha ⁻¹)		
<60	60	30	0	90	60	30
60 - 80	80	30	0	110	80	50
80 - 100	100	30	0	130	100	70
>100	120	30	0	150	120	90

Fonte: Adaptado de RAIJ et al. (1996)

Tabela 4. Recomendação de adubação N, P e K para soqueiras de cana-de-açúcar para o Estado de São Paulo, com publicação prevista para junho de 2022.

Produtividade esperada	N	P (resina – mg dm ⁻³)				K ⁺ (mmolc dm ⁻³)			
		0-6	7-15	16-40	>40	0-0,7	0,8-1,5	1,5-3,0	>3,0
(t ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)				K ₂ O (kg ha ⁻¹)			
<80	80	40	20	0	0	100	80	60	40
80 - 100	100	40	20	0	0	140	100	80	60
100 - 120	120	60	40	30	0	160	120	100	80
120 - 140	140	60	40	30	0	180	140	120	100
>140	140	60	40	30	0	200	160	140	100

Fonte: Otto et al. (2022), Novo Boletim Técnico 100.

Ao se analisar as recomendações de adubação nitrogenada para soqueiras de cana-de-açúcar de 1996 e as recomendações atuais, torna-se perceptível o aumento nos valores de produtividade esperada e de doses de N. Em 1996, a recomendação tinha por base uma variação de produtividade esperada de menor que 60 t ha⁻¹ até maior que 100 t ha⁻¹ e doses variando de 60 a 120 kg ha⁻¹ de N.

Com a nova recomendação, foi possível perceber um aumento na amplitude dos valores mínimos e máximos de aplicação, com um valor mínimo de N recomendado de 80 e máximo de 140 kg ha⁻¹ a ser aplicado na área e buscando produtividades que variam de menos que 80 a mais que 140 t ha⁻¹. O mesmo padrão se dá na adubação de plantio, com a dose sugerida igual a 30 kg ha⁻¹ no sulco em ambas as situações, mais 60 a 90 kg ha⁻¹ em cobertura, mas com a diferença notável da recomendação atual frente à antiga em relação ao leque de produtividades desejadas. Tais diferenças se dão, em grande parte, devido à constante mudança do solo e à evolução genética das cultivares, que podem ser mais produtivas, mas demandam maior quantidade de nutrientes para expressar seu total potencial genético, fazendo assim os valores de mínimos e máximos de produtividade esperada e de nutriente aplicado na área aumentarem.

6 METODOLOGIA DA PESQUISA

No presente estudo foi elaborada uma revisão bibliográfica dentro do período 2000 a 2022, que possui fundamentação teórica baseada em pesquisas realizadas na base de dados online “Scholar Google” e em revistas e livros disponíveis na versão impressa. O processo de levantamento bibliográfico foi feito utilizando palavras-chave como “Adubação”, “Nitrogenada”, “Cana-de-açúcar”, as quais apresentaram dados e resultados que foram reunidos, analisados, comparados e posteriormente registrados neste trabalho, elucidando dados sobre o tema referente a nutrição e a adubação nitrogenada na cultura da cana-de-açúcar.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cana-de-açúcar é uma cultura de grande influência na economia brasileira e principalmente na economia do Estado de São Paulo, que é seu maior produtor. Técnicas corretas de manejo são necessárias para obter o maior aproveitamento da cultura e, através dessa pesquisa, pode-se afirmar que a cana-de-açúcar sem déficit, em especial o hídrico, responde muito bem à adubação nitrogenada. O N é atuante em várias funções biológicas vitais, exercendo papel estrutural e constituinte de

enzimas, formando compostos como proteínas, DNA, RNA, lipoproteínas e pigmentos de clorofila. A ureia é o principal fertilizante nitrogenado utilizado na cultura e as doses de N recomendadas para aplicação na cana-de-açúcar aumentaram, quando comparadas as recomendações atuais às de 1996, principalmente devido à evolução do potencial de produção da cultura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, A. R. et al. **Movimentação de nitrato e amônio em colunas de solo**. Ciência e Agrotecnologia [online]. 2004, v. 28, n. 3 [Acessado 16 Maio 2022], pp. 537-541. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-70542004000300008>>

CASTRO, S. G. Q. **Manejo da adubação nitrogenada em cana-de-açúcar e diagnose por meio de sensores de dossel**. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 2016.

CHAPMAN, L. S.; HOGARTH, D.M.; LEVERINGTON, K. C. Does nitrogen fertilizer carry over to succeeding crops? In: Australian Society of Sugar Cane Technologists Congress, 22., 1983, Brisbane. **Proceeding...** Brisbane: Watson Ferguson, 1983, p. 109-114.

CHBAGRO. Principais adubos para a cultura da cana-de-açúcar. Disponível em: <<https://blog.chbagro.com.br/principais-adubos-para-a-cultura-da-cana-de-acucar>>. Acesso em: 08 dez. 2021.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**: Safra 2021-22, v. 8, n. 1, Brasília: Conab, 2021, p. 1-56.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**: Safra 2014-15, v. 1, n. 1, Brasília: Conab, 2014, p. 1-20.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Portal de Informações Agropecuárias. Disponível em: <<https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-cana-de-acucar.html>>. Acesso em: 12 jan. 2022.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Série Histórica das Safras – Cana-de-açúcar - Agrícola. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>>. Acesso em: 13 jan. 2022.

DALRI, A. B.; CRUZ, R. L. Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com n e k via gotejamento subsuperficial. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 516-524, 2008.

FRANCO, H. C. J. **Eficiência agrônômica da adubação nitrogenada de cana-planta**. 2008. 127p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP, 2008.

GAVA, G. J. C.; DELLABIGLIA, W. J.; ARLANCH, A. B.; AFONSO, P. F. N.; VILLAS BOAS, R. L. Produtividade da cana-de-açúcar em duas disponibilidades hídricas contrastantes e com diferentes doses de N-fertilizante. In: XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2015, Natal. **Anais...** 2015. Disponível em: <https://www.eventosolos.org.br/cbcs2015/anais/index_int7419.html>. Acesso em: 22 out. 2021.

HAYNES, R.; GOH, K. M. Ammonium and nitrate nutrition of plants. **Biological Reviews**, Cambridge, v. 53, n. 4, p. 465-510, 1978.

- HEWITT, E. J.; CUTTING, C. V. **Nitrogen assimilation of plants**: proceedings of a symposium held at Long Ashton Research Station, University of Bristol, 19-22 September 1977. Vol. 6. London: Academic Press, 1979.
- LAM, H.M.; COSCHIGANO, K. T.; OLIVEIRA, I. C.; MELO-OLIVEIRA, R.; CORUZZI, G. M. The molecular-genetics of nitrogen assimilation into amino acids in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 47, p. 569-593, 1996.
- LARA CABEZAS, A. R.; TRIVELIN, P. C. O.; BENDASSOLLI, J. A.; DE SANTANA, D. G.; GASCHO, 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.
- MACHADO, C. T. T.; FURLANI, A. M. C.; MACHADO, A. T. Índices de eficiência de variedades locais e melhoradas de milho ao fósforo. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 3, p. 225-238, 2001.
- MAGALHÃES, J. R.; JU, G. C.; RICH, P. J.; RHODES, D. Kinetics of $^{15}\text{NH}_4^+$ assimilation in Zea mays: Preliminary studies with a glutamate dehydrogenase (GDH1) null mutante. **Plant Physiology**, Washington, v. 94, n. 2, p. 647-656, 1990.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997.
- MALHI, S. S.; GRANT, C. A.; JOHNSTON, A. M.; GILL, K. S. Nitrogen fertilization management for no-till cereal production in the Canadian Great Plains: a review. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v. 60, n. 3-4, p. 101-122, 2001.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 4. ed. Worblaufen-Bern: International Potash Institute, 1987.
- NAMBIAR, P. T. C.; REGO, T. J.; SRINIVASA RAO, B. Nitrate concentration and nitrate reductase activity in the leaves of three legumes and three cereals. **Annals of Applied Biology**, Warwick, v. 112, n. 3, p. 547-553, 1988.
- NG KEE KWONG, K. F.; DEVILLE, J. Application of ^{15}N -labelled urea to sugar cane through a drip-irrigation system in Mauritius. **Fertilizer research**, The Hague, v. 39, p. 223-228, 1994.
- ORLANDO FILHO, J.; RODELLA, A. A.; BELTRAME, J. A.; LAVORENT, N. A. Doses, fontes e formas de aplicação de nitrogênio em cana-de-açúcar. **STAB: açúcar, álcool e subprodutos**, Piracicaba, v. 17, n. 4, p. 39-41, 1999.
- OTTO, R.; ALTARUGIO, L. M.; SANCHES, G. M. Atualizações sobre exigências nutricionais da cana-de-açúcar para fins de manejo da adubação. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, n. 3, p. 1- 2, 2019.
- OTTO, R.; CASTRO, S. A. Q.; MARIANO, E.; CASTRO, S. G. Q.; FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O. Nitrogen use efficiency for sugarcane-biofuel production: What is next?. **Bioenergy Research**, v. 9, p. 1272-1289, 2016.
- PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. 8. ed. São Paulo: Ed. da UNESP, 2008.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. Boletim Técnico Nº 100. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico e Fundação IAC, 1996. p. 237-239.
- ROMÁN, R. M. S.; DA SILVA, N. F.; CUNHA, F. N.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L.; RIBEIRO, P. H. P. Produtividade da cana-de-açúcar submetida a diferentes reposições hídricas e nitrogênio em dois ciclos. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 198-210, 2015.

SINGH, P. N.; MOHAN, S. C. Water use and yield response of sugarcane under different irrigation schedules and nitrogen levels in a subtropical region. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 26, n. 4, p. 253-264, 1994.

TASCA, F. A. et al. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* [online]. 2011, v. 35, n. 2 [Acessado 16 Maio 2022], pp. 493-502. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000200018>>.

THORBURN, P. J.; DART, I. K.; BIGGS, I. M.; BAILLIE, C. P.; SMITH, M. A.; KEATING, B. A. The fate of nitrogen applied to sugarcane by trickle irrigation. *Irrigation Science*, New York, v. 22, p. 201–209, 2003.

TRIVELIN, P. C. O. **Utilização do nitrogênio pela cana-de-açúcar**: três casos estudados com uso do traçador ¹⁵N. 2000. 143p. Tese (Livre – Docência) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP, 2000.

TRIVELIN, P. C. O.; OLIVEIRA, M. W.; VITTI, A. C.; GAVA, G. J. C.; BENDASSOLLI, J. A. Perdas do nitrogênio da uréia no sistema solo-planta em dois ciclos de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 37, n. 2, p. 193-201, 2002.

VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O.; GAVA, G. J. C.; PENATTI, C. P.; BOLOGNA, I. R.; FARONI, C. E.; FRANCO, H. C. J. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada ao nitrogênio residual da adubação e do sistema radicular. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 42, n. 2, p. 249-256, 2007.

WEBER, H.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; IDO, O. T.; BARELA, J. D. Recuperação da produtividade de soqueiras de cana-de-açúcar com adubação NPK. *Scientia Agraria*, Curitiba, v. 2, n. 1-2, p. 73-77, 2001.

YARABRASIL. Deficiência de nitrogênio em cana-de-açúcar. Disponível em: <<https://www.yarabrasil.com.br/nutricao-de-plantas/cana/deficiencias-cana/deficiencia-de-nitrogenio-cana/>>. Acesso em 17-04-2022.