

## DOSE ÓTIMA ECONÔMICA DE NITROGÊNIO EM CANA-DE-AÇÚCAR APLICADA VIA FERTIRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO

**MAURA SEIKO TSUTSUI ESPERANCINI<sup>1</sup>; PAULO FERNANDO DO NASCIMENTO AFONSO<sup>2</sup>; GLAUBER JOSÉ DE CASTRO GAVA<sup>3</sup> E ROBERTO LYRA VILLAS BOAS<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Professora Doutora, Departamento de Economia e Sociologia Rural, UNESP/FCA. [maura@fca.unesp.br](mailto:maura@fca.unesp.br)

<sup>2</sup>Doutorando em Agronomia, Energia na Agricultura, UNESP/FCA. [afonso@fca.unesp.br](mailto:afonso@fca.unesp.br)

<sup>3</sup>Pesquisador da APTA, Polo Centro-Oeste Jaú/SP. [ggava@apta.sp.gov.br](mailto:ggava@apta.sp.gov.br)

<sup>4</sup>Professor Doutor, Departamento de Recursos Naturais/Ciência do Solo, UNESP/FCA.

[rlvboas@fca.unesp.br](mailto:rlvboas@fca.unesp.br)

### 1 RESUMO

A adubação é um importante fator para ampliar a produtividade da cana-de-açúcar, e o nitrogênio é um dos nutrientes que mais limitam a produtividade da cultura. A cana-de-açúcar no Brasil é adubada com doses entre 60 a 120 kg ha<sup>-1</sup> de N-ureia em soqueiras, quando comparado a outros países com produtividades comparáveis, as doses de N são geralmente superiores a 120 kg ha<sup>-1</sup> de N e, em alguns casos, atingem 200 kg ha<sup>-1</sup> de N. A adubação tem impacto significativo na composição dos custos de produção da cultura de cana-de-açúcar. Em 2011, na região Centro-Sul do Brasil, a relação de troca, ou seja, a quantidade necessária para se adquirir uma tonelada de fertilizante, foi em média de 19,2 toneladas de cana-de-açúcar. Com 78% do nitrogênio consumido na agricultura, o Brasil desponta entre os principais importadores mundiais do nutriente. A dimensão do retorno econômico da exploração comercial da cultura da cana-de-açúcar está sustentada basicamente em três pontos: rendimento físico, custo de produção e preço da cana-de-açúcar. Portanto, estudos econômicos da aplicação de nitrogênio, têm efeito direto na rentabilidade da cultura da cana-de-açúcar. O experimento com aplicação de nitrogênio em soqueira de cana-de-açúcar via irrigação localizada por gotejamento, foi conduzido na Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento (UPD) de Jaú/SP, da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA) Polo Centro-Oeste. Avaliou-se a segunda soqueira da cultivar SP80-3280. O experimento em condições de campo foi constituído de três doses de N na safra 2008/2009 (70, 140, 210 kg N ha<sup>-1</sup>). Para obtenção da receita líquida de R\$ 6.092,56 ha<sup>-1</sup>, a produtividade econômica ótima foi de 139,9 t ha<sup>-1</sup> de cana-de-açúcar com aplicação de 170,2 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, na forma de ureia, aplicada via fertirrigação por gotejamento, ao longo do ciclo.

**Palavras-chave:** Irrigação, cana-de-açúcar, produtividade ótima econômica.

**ESPERANCINI, M.S.T; AFONSO, P.F.N; GAVA, G.J.C, VILLAS BOAS, R.L.  
ECONOMICALLY OPTIMAL DOSE OF NITROGEN IN SUGAR CANE APPLIED BY  
DRIPPING FERTIGATION**

## 2 ABSTRACT

Fertilization is an important factor to increase yield of sugar cane, and Nitrogen is one of the nutrients which most limits crop yield. Sugar cane in Brazil has been fertilized with doses between 60 to 120 kg ha<sup>-1</sup> N-urea in ratoons. When countries with similar productivity are compared, N doses have been generally higher than 120 kg ha<sup>-1</sup>, and in some cases, have reached 200 kg ha<sup>-1</sup> N. Fertilization has a great impact on the composition of production costs of the sugar cane crop. In 2011, in the middle southern region of Brazil, the exchange ratio, i.e., the necessary amount to buy one ton fertilizer was an average of 19.2 ton sugar cane. With 78% Nitrogen consumed in agriculture, Brazil stands out among the world's leading importers of the nutrient. The amount of economic returns from commercial cultivation of sugar cane is mainly based on three points: physical performance, production cost and price of sugar cane. Therefore, economic studies on nitrogen application have a direct effect on profitability of the sugar cane crop. The experiment based on nitrogen application to sugar cane ratoons using targeted irrigation by dripping was conducted at the Research and Development Unit (UPD) in Jaú city/SP, Paulista Technology Agency of Agribusiness (APTA), middle-west center. The second ratoon SP80-3280 cultivar was evaluated. The experiment under field conditions consisted of three N rates in the 2008/2009 harvest (70, 140, 210 kg N ha<sup>-1</sup>). For achieving R\$ 6,092.56 ha<sup>-1</sup> net revenue, the optimal economic productivity was 139.9 t ha<sup>-1</sup> sugar cane, using 170.2 kg ha<sup>-1</sup> urea-N applied by dripping fertigation.

**Keywords:** irrigation, sugar cane, optimal economic productivity

## 3 INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira vem apresentando um processo de expansão devido ao forte crescimento da demanda externa e interna por alimentos. No mercado externo, a forte demanda por *commodities* é principalmente em razão do crescimento de países emergentes como a China, a Índia e a Rússia e a demanda interna decorrente do aumento na renda das famílias através dos programas sociais do governo federal. No caso específico da cana-de-açúcar, a demanda também foi aquecida pelo crescimento das vendas de automóveis com motores flex. Por essas razões, a demanda derivada por fertilizantes está em crescimento no Brasil (NOGUEIRA, 2008).

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, apresentando aumentos significativos na área colhida e na produção. Na safra 2011/12, foram colhidos 559,2 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, produzindo 35,9 milhões de toneladas de açúcar e 22,7 milhões de m<sup>3</sup> de etanol (UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR, 2012).

A produtividade média da cana-de-açúcar no Brasil é de 80 t ha<sup>-1</sup> de colmos. No estado de São Paulo, a média atinge 90 t ha<sup>-1</sup> de colmos. É importante salientar que ao longo dos últimos anos, houve ganhos expressivos de produtividade, alcançada por aporte de insumos, que inclui o uso de fertilizantes (ROSSETTO et al., 2010).

A cana-de-açúcar é a terceira cultura que mais demanda fertilizantes no Brasil, depois da soja e do milho. Em 2011, para o cultivo de aproximadamente 9,9 milhões de hectares de cana-de-açúcar, consumiu-se cerca de 4,2 milhões de toneladas de fertilizantes NPK, o que representa 14,9% do consumo brasileiro (ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS,

2012). A adubação é um importante fator para manter a produtividade da cana-de-açúcar.

A adubação tem impacto significativo na composição dos custos de produção da cultura de cana-de-açúcar. Estudos de várias entidades mostram a adubação como responsável por 20% a 25% dos custos de produção (MARAFON; ENDRES, 2011).

Uma das maiores limitações para o aumento da produtividade média da cultura da cana-de-açúcar, é a disponibilidade de nutrientes nos solos, com destaque para o nitrogênio (TRIVELIN, 2000).

Os fertilizantes nitrogenados quando aplicados ao solo, na forma manual ou mecanizada, sofrem uma série de transformações químicas e microbiológicas, que podem resultar em perda do nutriente. Nesse contexto, considerando o custo dos adubos nitrogenados, é fundamental o desenvolvimento de manejos adequados da adubação nitrogenada que visem o melhor aproveitamento do N pela cultura da cana-de-açúcar (FRANCO; TRIVELIN, 2010).

Estudos realizados com o isótopo estável  $^{15}\text{N}$ , método que permite quantificar com maior precisão o aproveitamento deste nutriente pela planta, demonstraram que o N-fertilizante aplicado em cana-de-açúcar situa-se na faixa de 20% a 40% (GAVA et al., 2003). Uma das razões é que a cana-de-açúcar apresenta um ciclo longo, e os fertilizantes são aplicados no início do ciclo, aumentando assim a possibilidade de perdas (CANTARELLA; ROSSETTO, 2010).

O cultivo da cana-de-açúcar no Brasil é feito com doses relativamente pequenas de fertilizantes nitrogenados, de 60 a 120 kg ha<sup>-1</sup> de N em soqueiras (CANTARELLA; ROSSETTO, 2010). Em outros países produtores de cana-de-açúcar com produtividades comparáveis, as doses de N são geralmente superiores a 120 kg ha<sup>-1</sup> e, em alguns casos, atingem 200 kg ha<sup>-1</sup> (DONZELLI, 2007).

Com o elevado custo dos fertilizantes é preciso maximizar seus benefícios na aplicação. A irrigação localizada pode apresentar-se como alternativa, onde a água e os fertilizantes são colocados simultaneamente através do sistema de gotejamento. Na aplicação convencional, o nutriente é aplicado geralmente em uma única dose, aumentando o risco de perdas. Utilizando a irrigação localizada por gotejamento a planta recebe o nutriente em várias doses, permitindo seu melhor aproveitamento. A irrigação localizada por gotejamento assegura que os nutrientes sejam supridos com precisão na área de atividade mais intensiva da raiz, de acordo com os requerimentos específicos da cultura e tipo de solo resultando em produções maiores de cana-de-açúcar.

A irrigação por gotejamento localizado juntamente com a fertilização em cana-de-açúcar, provou ser técnica e economicamente viável. Em diversas situações agro-ecológicas, a irrigação por gotejamento registrou maiores produtividades (50 a 90 t ha<sup>-1</sup>), redução no consumo de água (30 a 45%) e fertilizantes (25 a 30%). Além disso, com a irrigação por gotejamento localizado há aumento no teor de sacarose, quando comparado a métodos de irrigação como pivô central e aspersão (NETAFIM(a), s.d.).

De fato, um dos fatores que mais afeta a economicidade da cultura da cana-de-açúcar são os custos com adubação e, particularmente, com a adubação nitrogenada. Além disso, os preços dos adubos nitrogenados vêm apresentando crescimento, o que impacta ainda mais fortemente os custos de produção. Por isto deve-se garantir a máxima eficiência, principalmente do ponto de vista econômico, na utilização deste insumo. Uma das formas de otimizar economicamente a utilização de um insumo específico é determinar sua dose ótima econômica.

A produtividade ótima econômica se dá num ponto diferente da produtividade física máxima. O objetivo deste estudo é estimar a eficiência econômica da utilização de nitrogênio na produtividade de cana-de-açúcar irrigada por gotejamento, determinando a dose economicamente

ótima de nitrogênio, em diferentes cenários de preços relativos da cana-de-açúcar e do nitrogênio.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Fonte de dados

O experimento de adubação nitrogenada via fertirrigação na cana-de-açúcar foi conduzido na Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento (UPD) de Jaú/SP, da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA) polo Centro-Oeste, localizado na latitude de 22°17' S, e longitude 48° 34'W e altitude média de 580m. O tipo de solo da área foi classificado como Argissolo eutrófico. Antes da instalação do experimento foram realizadas amostragens do solo na área experimental ao acaso nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-80 cm, cujos resultados são apresentados nas Tabelas 1 e 2. Entre outros parâmetros, avaliou-se a produtividade da cana-de-açúcar em diferentes doses de nitrogênio aplicadas via fertirrigação.

**Tabela 1.** Características químicas do solo da área experimental - Jaú, SP - setembro de 2006.

Camadas em	pH CaCl <sub>2</sub>	M.O. g dm <sup>-3</sup>	P ----mg dm <sup>-3</sup> ----	S-SO <sub>4</sub>	K -----mmolc dm <sup>-3</sup> -----	Ca	Mg	Al	H+Al	V %
0-20	5,2	19,0	19,0	3,0	0,9	27,0	14,0	0	22,0	66
20-40	5,3	14,0	11,0	2,0	0,4	21,0	12,0	0	20,0	64
40-80	5,5	7,0	3,0	6,0	0,2	21,0	7,0	0	16,0	66

**Tabela 2.** Caracterização física do solo da área experimental - Jaú, SP - setembro de 2006.

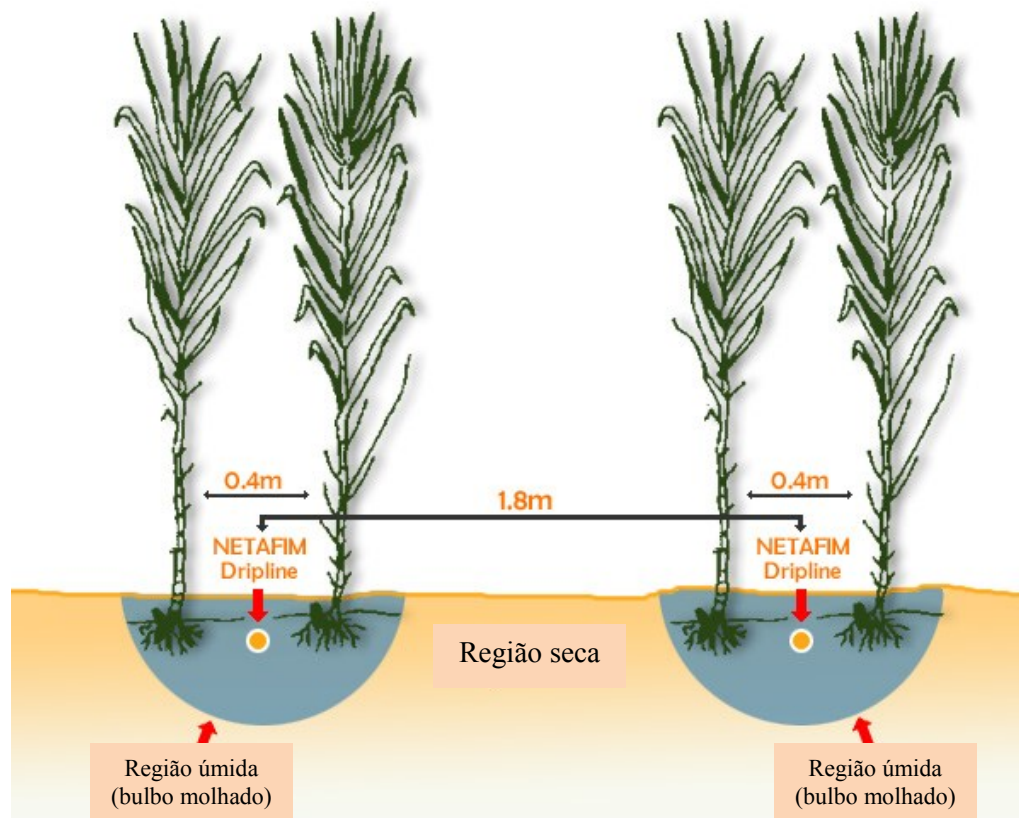
Camadas cm	Area	Silte -----g kg <sup>-1</sup> -----	Argila
0-20	660	70	270
20-40	600	60	340
40-80	530	70	400

Análise granulométrica - método do densímetro (BOUYOCOS, 1927)

Os dados experimentais foram utilizados para estimar a dose ótima econômica de nitrogênio para a segunda soqueira da cultivar SP80-3280. Utilizou-se o segundo ciclo de produção, porque em geral é neste ciclo que ocorre a maior queda relativa de produtividade da cana-de-açúcar. Para se ter uma ideia, na safra 2011/2012, a produtividade média da cana-de-açúcar caiu de 91 para 78 t ha<sup>-1</sup>, do primeiro para o segundo ciclo nas regiões canavieiras do Brasil. Nos demais ciclos a queda foi inferior a 10 t ha<sup>-1</sup> (BRASIL, 2012).

As parcelas constituíram-se de cinco sulcos de 30 metros de comprimento. Em todos os tratamentos foi utilizado o plantio em linha dupla (Figura 1), com espaçamento de 0,40 m entre sulcos e 1,80 m entre linhas gotejadoras. Nos tratamentos irrigados, o tubo gotejador foi enterrado a 25 cm de profundidade da superfície do solo, no meio da linha dupla. O tubo gotejador utilizado foi o DRIPNET PC 22135 FL vazão de 1,0 L h<sup>-1</sup> com gotejadores a cada 0,5 m.

**Figura 1.** Detalhe do espaçamento utilizado entre as linhas de cana-de-açúcar.



**Fonte:** Netafim(b), s.d.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com três repetições para cada experimento, além da testemunha. A Tabela 3 mostra a produtividade média das três repetições.

**Tabela 3.** Produtividade média de colmos – 2ª soqueira – Jaú, SP - safra 2008/2009.

Tratamentos	Descrição	t ha <sup>-1</sup>
T1	sem N + irrigação	83,6
T2	70 kg ha <sup>-1</sup> N + irrigação	97,5
T3	140 kg ha <sup>-1</sup> N + irrigação	132,8
T4	210 kg ha <sup>-1</sup> N + irrigação	130,4

Conforme Uribe et al. (2013), as doses de N foram aplicadas semanalmente, no período de setembro de 2008 a julho de 2009, na forma de ureia em irrigação localizada por gotejamento. No tratamento não irrigado (sequeiro) a aplicação da ureia foi realizada após 40 dias do corte. Cada período do ciclo recebeu uma porcentagem da dose conforme o estágio de desenvolvimento das

plantas. Quatro meses antes da colheita foi interrompida a aplicação de fertilizante nitrogenado, na fase correspondente a maturação da cana-de-açúcar. A precipitação no período foi de 1.740 mm e a lâmina total aplicada nos tratamentos irrigados foi de 293 mm.

## 4.2 Método

A partir dos dados experimentais, ajustou-se uma função que representa a relação entre as doses de nitrogênio e a produtividade da cana-de-açúcar, permitindo predizer o valor que a variável dependente produtividade da cana-de-açúcar ( $y$ ) irá assumir para um determinado valor da variável independente, dose de nitrogênio ( $x$ ). Esta função é chamada de função de produção.

A função de produção representa o máximo que se pode obter com o uso de cada combinação de insumos, construindo, portanto, uma relação funcional entre os insumos e o produto, conforme a equação 1.

$$y = f(x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n) \quad [1]$$

onde,  $y$  é a quantidade produzida e  $x_1, x_2, \dots, x_n$  são os  $n$  insumos que entram neste processo e se transformam em  $y$  (NORONHA, 1986).

Neste estudo, a quantidade de nitrogênio ( $x$ ) aplicado é o único insumo definido como variável independente, medido em  $\text{kg ha}^{-1}$ , e a produção de cana-de-açúcar ( $y$ ) é o produto, medido também em  $\text{t ha}^{-1}$ . As quantidades dos demais insumos não sofreram variação, sendo considerados constantes.

Para estimar a dose ótima econômica de nitrogênio do experimento em questão, utilizou-se o princípio da receita e custo adicionais (HOFFMANN et al., 1989). Admitindo-se que o nitrogênio seja o único insumo variável, cada acréscimo de dose ( $\Delta x$ ) implica em um custo adicional ou marginal (C<sub>Ma</sub>), que é dado por:

$$C_{Ma} = \Delta x \cdot P_x \quad [2]$$

onde,  $P_x$  representa o preço do quilo de nitrogênio.

Se a variação na dose de nitrogênio for de uma unidade pode-se admitir que o custo adicional seja simplesmente  $P_x$ .

Em contrapartida, dentro dos limites da função de produção, cada acréscimo de nitrogênio implica em acréscimos da produção e, portanto das receitas. A Receita adicional ou Receita marginal (R<sub>Ma</sub>) é dada por:

$$R_{Ma} = \frac{d(RT)}{dx} = \frac{d(Y \cdot P_y)}{dx} = \frac{dY}{dx} \cdot P_y = P_{FMa} \cdot P_y \quad [3]$$

onde,  $P_y$  representa o preço da tonelada de cana-de-açúcar para cada cenário.

O produtor racional vai acrescentando doses adicionais de fertilizante enquanto a receita adicional for superior ao custo de acrescentar mais nitrogênio, e deve parar de adicionar nitrogênio quando a receita adicional gerada for igual ao custo adicional de colocar mais nitrogênio, portanto:

$$P_{FMa} \cdot P_y = P_x \quad [4]$$

onde, PFMA representa a produtividade física marginal e mede o efeito sobre a produção provocado por uma variação unitária no uso do insumo, mantendo-se inalterados os níveis dos demais insumos.

Dados os preços do nitrogênio e da tonelada de cana-de-açúcar é possível estimar o valor de  $X$  que maximiza o lucro do produtor em relação à quantidade de nitrogênio que deve ser aplicada. Desta forma, a dose ótima de nitrogênio depende da relação de preços do nitrogênio e da cana-de-açúcar, que variam ao longo do tempo.

Os preços utilizados foram os preços médios mensais da tonelada de cana-de-açúcar recebidos pelo agricultor (IEA, 2012b) e o preço do nitrogênio utilizado foi o da ureia pago pelo agricultor, no período de janeiro de 2008 a dezembro de 2012 (IEA, 2012a). Os preços foram deflacionados pelo Índice Geral de Preços - IGP-DI da Fundação Getúlio Vargas, com base no mês de dezembro 2012.

Para contemplar as variações de preços, cenários foram elaborados relacionando os preços do nitrogênio e preços da cana-de-açúcar. Com base nos preços deflacionados da tonelada de cana-de-açúcar e do quilo de nitrogênio, obtidos no período de janeiro/2008 a dezembro/2012, quatro cenários de preços foram criados: pessimista, médio, otimista e atual.

No cenário pessimista o preço do fertilizante encontram-se em seu nível máximo e o preço da tonelada de cana-de-açúcar recebida pelo produtor em seu valor mínimo. A relação se inverte no cenário otimista, ou seja, o fertilizante pago pelo produtor encontra-se em seu valor mínimo e a cana-de-açúcar recebida em seu valor máximo. No cenário de preços médios, considerou-se a média aritmética dos preços da tonelada de cana-de-açúcar e do quilo do nitrogênio do período em referência. No cenário atual utilizou-se o último preço disponível para os preços pagos pelo nitrogênio e recebidos pela tonelada de cana de açúcar, ou seja, março de 2013.

Para identificar a dose ótima econômica em cada um, utilizou-se a equação [5] para cada um dos cenários definidos. Desta forma, ao invés de se estabelecer uma dose ótima econômica, pode-se identificar a faixa em que esta dose se encontra.

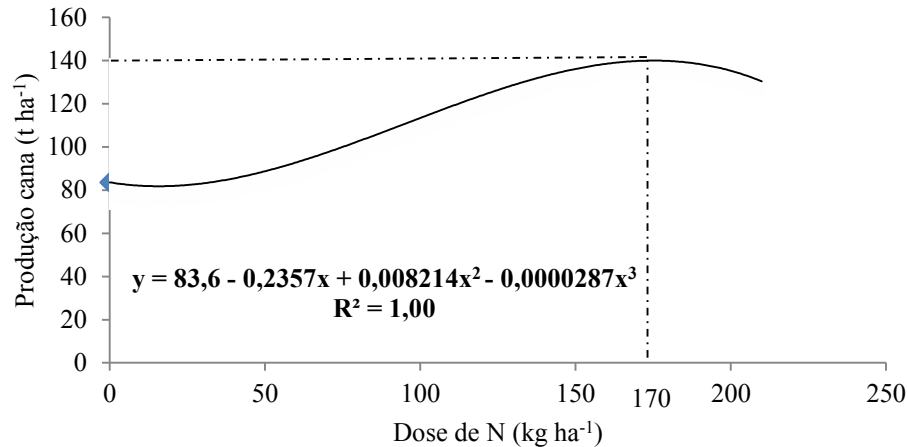
$$PFMA_x = \frac{dPFY}{dX} = \frac{P_x}{P_y} \quad [5]$$

onde,  $PFMA_x$  representa a dose ótima econômica,  $P_x$  o preço do quilo de nitrogênio e  $P_y$  o preço da tonelada de cana-de-açúcar para cada cenário.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na média dos resultados de produtividade obtidos da cana-de-açúcar em função das doses de nitrogênio, estabelecidos pelo experimento, ajustou-se uma função polinomial do 3º grau (Figura 2).

**Figura 2.** Curva de resposta da produtividade de cana-de-açúcar em função de doses de N aplicadas – Jaú, SP - safra 2008/2009.



A função de produção obtida foi:

$$y = 83,6 - 0,2357x + 0,008214x^2 - 0,0000287x^3 \quad [6]$$

onde:

y = produtividade de cana-de-açúcar ( $t \text{ ha}^{-1}$ )

x = quantidade de nitrogênio aplicado ( $kg \text{ ha}^{-1}$ )

A partir da equação y [6] determinou-se a produtividade física marginal (PFMa).

O produto físico marginal (PFMa) do fator variável representa a mudança na produção ( $\Delta y$ ) associada à mudança incremental no uso do fator ( $\Delta x$ ).

Uma vez que num ponto de máximo de uma função a sua derivada é igual à zero, quando o PFT é máximo, o PFMa é igual a zero, que conduz à dose correspondente ao máximo da função. Assim, tem-se:

$$\begin{aligned} \text{PFT}(y) &= 83,6 - 0,2357x + 0,008214x^2 - 0,0000287x^3 \\ \text{PFMa} &= \frac{dy}{dx} = -0,2357 + 0,0164x - 0,000086x^2 \quad [7] \end{aligned}$$

A primeira raiz não é aceitável como ponto ótimo de produção, pois está no 1º estágio (irracional) da função de produção, mas  $x = 175$  corresponde ao ponto de PFT máximo, satisfazendo a condição de 2ª ordem para máximo, que estabelece que a segunda derivada da função deva ser negativa.

Substituindo-se  $x = 175 \text{ kg ha}^{-1}$  de N na equação do PFT  $(y) = 83,6 - 0,2357x + 0,008214x^2 - 0,0000287x^3$ , tem-se o valor máximo do PFT, que é  $y = 140 \text{ t ha}^{-1}$  cana-de-açúcar.

O máximo da produtividade da cana-de-açúcar, nas condições experimentais é de  $140 \text{ t ha}^{-1}$ , para uma dose de nitrogênio de  $175 \text{ kg ha}^{-1}$  (Tabela 4). A partir desse ponto, qualquer uso adicional de nitrogênio não reflete em aumento de produção.



**Tabela 4.** Ponto de máximo da produtividade física – Jaú, SP - safra 2008/2009.

Ensaio	Nitrogênio em kg ha <sup>-1</sup> (x)	Produtividade de cana- de-açúcar t ha <sup>-1</sup> (y)	PFMa = $\Delta y/\Delta x$ t kg <sup>-1</sup>
sem N + irrigação	0	83,6	0
70 kg ha <sup>-1</sup> N + irrigação	70	97,5	0,20
140 kg ha <sup>-1</sup> N + irrigação	140	132,8	0,50
Produtividade máxima	175	140,0	0,21
210 kg ha <sup>-1</sup> N + irrigação	210	130,4	-0,27

PFMa – produto físico marginal

Com base nos preços mínimos, máximos, médios e atual do nitrogênio e da cana-de-açúcar, foram construídos os cenários de preços, conforme a Tabela 5.

**Tabela 5.** Preços para a cana-de-açúcar e o nitrogênio – janeiro/2008 a dezembro/2012.

Preços	Cenários				Medidas de Dispersão	
	Pessimista	Médio	Otimista	Atual	Amplitude	Desvio Padrão
Cana-de-açúcar (R\$ t <sup>-1</sup> )	20,66	47,26	68,75	64,66	48,09	21,87
Nitrogênio (R\$ kg <sup>-1</sup> )	4,19	3,05	2,09	4,16	2,10	1,01

Fonte: IEA (2012a,b)

Conforme os resultados apresentados na Tabela 5, observa-se elevada amplitude dos preços da cana-de-açúcar (R\$ 48,09 t<sup>-1</sup>). Por ser uma cultura que reflete um mercado comoditizado, estas variações são normais, enquanto o preço do nitrogênio apresentou uma amplitude de R\$ 2,10 kg<sup>-1</sup>.

O desvio padrão também indica elevada dispersão dos valores da cana-de-açúcar (R\$ 21,87 t<sup>-1</sup>) e do nitrogênio (R\$ 1,01 kg<sup>-1</sup>). Isso pode ser explicado pela crise financeira de 2008/2009, que levou a redução no ritmo de investimentos no setor sucroenergético, acompanhado pelo baixo preço pago pela tonelada de cana-de-açúcar associado à elevação de preços dos fertilizantes, muitos canaviais deixaram de ser renovados ou receberam doses de fertilizantes abaixo do que deveria ser aplicado.

Inserindo-se cada relação de preços na equação [5], foram obtidas as doses ótimas econômicas e a respectiva produtividade de cana-de-açúcar em cada cenário, conforme mostra a Tabela 6.

**Tabela 6.** Doses ótimas econômicas e respectivas produtividades nos cenários de preços de nitrogênio e cana-de-açúcar – janeiro/2008 a dezembro/2012.

Descrição	Cenários				Medidas de Dispersão	
	Pessimista	Médio	Otimista	Atual	Amplitude	Desvio Padrão
Produtividade de cana-de-açúcar (t ha <sup>-1</sup> )	138,3	139,9	140	139,9	1,7	0,82
Dose ótima econômica de N (kg ha <sup>-1</sup> )	158,5	170,2	172,7	170,3	14,2	6,39

Gava et al. (2011), em trabalhos com irrigação por gotejamento de cana-de-açúcar, obteve em três cultivares estudados a média de 132,2 t ha<sup>-1</sup> para o manejo irrigado por gotejamento e de 106,5 t ha<sup>-1</sup> para o manejo de sequeiro, no primeiro ciclo produtivo; no segundo ciclo (cana-soca), a média foi de 126,2 e 90,8 t ha<sup>-1</sup>, para os manejos irrigado e de sequeiro, respectivamente.

Apesar da reconhecida importância agrônômica da adubação nitrogenada no aumento da produtividade e longevidade da cana-de-açúcar (VITTI et al., 2007), existem poucos estudos econômicos comparativos envolvendo esta questão (VALE; PRADO; PANCELLI, 2009).

A dimensão do retorno econômico da exploração comercial da cultura de cana-de-açúcar está sustentada basicamente em três pontos: rendimento físico, custo de produção e preço da cana-de-açúcar (VALE; PRADO; PANCELLI, 2009).

Espironelo (1985) em experimento com cana-de-açúcar no estado de São Paulo apontava que a adubação nitrogenada mais econômica era da ordem de 80 kg ha<sup>-1</sup>. Vitti e Favarin (1997) afirmam que a dose com maior retorno econômico é influenciada pelos preços recebidos pela tonelada de cana-de-açúcar e pagos pelo quilo do nitrogênio.

Penatti e Forti (1994), em resultados com vinte experimentos instalados em cana soca obteve a produtividade máxima de 112 t ha<sup>-1</sup> com dose de 153 kg ha<sup>-1</sup> de N. Para a relação de preços cana-de-açúcar e ureia, a dose de maior retorno econômico foi de 93 kg ha<sup>-1</sup> de N para produtividade máxima econômica de 110,4 t ha<sup>-1</sup> de cana-de-açúcar. Salientou também que essa dose é variável em função da relação de preço do fertilizante e da cana-de-açúcar.

Rossetto (2005) trabalhando com calibração de N e K<sub>2</sub>O em soqueiras de cana-de-açúcar na Usina Iracema/SP, obteve resposta significativa com aplicação de N, com a produtividade máxima de 104,5 t ha<sup>-1</sup> para a dose de 118,5 kg ha<sup>-1</sup> de N. Para a relação de preços cana-de-açúcar e nitrogênio, a dose de maior retorno econômico foi de 85,5 kg ha<sup>-1</sup> de N para produtividade máxima econômica de 103,5 t ha<sup>-1</sup>.

Vale, Prado e Pancelli (2009) em experimentos com adubação nitrogenada de cana-de-açúcar em sequeiro, realizado no município de Jaboticabal/SP, na safra 2006/2007 com a cultivar SP79-1011 mostra que em função da análise econômica na segunda soqueira, a dose igual a 150 kg ha<sup>-1</sup> promoveu um incremento de 170% na relação benefício/custo, se comparado a aplicação de N igual a 50 kg ha<sup>-1</sup>. Porém, a dose com melhor retorno econômico foi de 50 kg ha<sup>-1</sup>, em virtude do baixo preço da cana-de-açúcar e do elevado custo do nitrogênio.

Rossetto et al. (2010) em quinze experimentos instalados em várias regiões do estado de São Paulo, obteve os melhores rendimentos de cana-de-açúcar com dose de 148 kg ha<sup>-1</sup> de N, no

entanto, a dose economicamente mais rentável foi de 120 kg ha<sup>-1</sup>. O ganho de produtividade não foi suficiente para compensar os custos quando as doses foram superiores a 120 kg ha<sup>-1</sup>.

## 6 CONCLUSÕES

A aplicação de 170,2 kg ha<sup>-1</sup> de N, na forma de ureia, via fertirrigação por gotejamento, proporcionou a máxima eficiência econômica, com produtividade de 139,9 t ha<sup>-1</sup>, que correspondeu à obtenção da receita líquida de R\$ 6.092,56 ha<sup>-1</sup>.

## 7 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. **Anuário estatístico do setor de fertilizantes 2011**. São Paulo, ANDA, 1987-2012. 178 p.

BOUYOUCOS, G. J. The hydrometer as a new and rapid method for determining the colloidal content of soils. **Soil Science**, Baltimore, v. 23, p. 319-331, 1927.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Produção e Agroenergia. **Evolução da produtividade da cana-de-açúcar por corte**. Setembro/2012. Disponível em:

<[http://www.agricultura.gov.br/arq\\_editor/file/Desenvolvimento\\_Sustentavel/Agroenergia/estatisticas/producao/SETEMBRO\\_2012/evolucao%20produtividade%20cana.pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Desenvolvimento_Sustentavel/Agroenergia/estatisticas/producao/SETEMBRO_2012/evolucao%20produtividade%20cana.pdf)>. Acesso em: 2 ago. 2013.

CANTARELLA, H.; ROSSETTO, R. Fertilizantes para cana-de-açúcar. In: CORTEZ, L. A. B. (Coord.). **Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade**. São Paulo: Blucher, 2010.

DONZELLI, J. L. Uso de fertilizantes na cana-de-açúcar no Brasil. In: MACEDO, I. C. (Org.). **A energia da cana-de-açúcar**. 2. ed. São Paulo: Única, 2007. 246 p.

ESPIRONELO, A. Cana-de-açúcar, In: RAIJ, B. Van (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1985.

FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O. Adubação nitrogenada em cana-de-açúcar: reflexos do plantio à colheita. In: CRUSCIOL, C. A. C.; SILVA, M. A.; ROSSETTO, R.; SORATTO, R. P. **Tópicos em ecofisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: FEPAF, 2010.

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

GAVA, G. J. C.; SILVA, M. A.; SILVA, R. C.; JERÔNIMO, E. M.; CRUZ, J. C. S.; KÖLLN, O. T. Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 15, n. 3, p. 250-255, 2011.

HOFFMANN, R.; ENGLER, J. J. C.; SERRANO, O.; THAME, A. C. M.; NEVES, E. M. **Administração da empresa agrícola**. 6. ed. São Paulo: Pioneira, 1989. 325 p.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Preços médios mensais pagos pela agricultura**. São Paulo, 2012a. Disponível em: <[http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/Preços\\_Medios.aspx?cod\\_sis=5](http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/Preços_Medios.aspx?cod_sis=5)>. Acesso em: 02 maio 2013.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Preços médios recebidos pela agricultura**. São Paulo, 2012b. Disponível em: <[http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/precos\\_medios.aspx?cod\\_sis=2](http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/precos_medios.aspx?cod_sis=2)>. Acesso em: 2 maio 2013.

MARAFON, A. C.; ENDRES, L. **Adubação silicatada em cana-de-açúcar**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2011. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/914935>>. Acesso em: 13 nov. 2012.

NETAFIM(a) (s.d.). **Cana-de-açúcar**. Disponível em: <<http://www.netafim.com.br/crop/sugar-cane-bio-energy>>. Acesso em: 6 maio 2013.

NETAFIM(b) (s.d.). **Drip irrigation**. Disponível em: <[http://www.sugarcane crops.com/p/drip\\_irrigation/](http://www.sugarcane crops.com/p/drip_irrigation/)>. Acesso em: 6 maio 2015.

NOGUEIRA, A. C. L. Agricultura: o mercado de fertilizantes no Brasil. Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas. **Informações Fipe**, São Paulo, SP, n. 332, p. 5, maio 2008.

NORONHA, J. F. Teoria da produção aplicada à análise econômica de experimentos. In: EMBRAPA. Departamento de Estudos e Pesquisas. **Planejamento da propriedade agrícola: modelos de decisão**. 2. ed. Brasília, 1986. 300 p. (Documentos, 7).

PENATTI, C. P.; FORTI, J. A. Adubação nitrogenada em soqueiras de cana-de-açúcar, In: VI Seminário de Tecnologia Agrônômica, 6., 1994, Piracicaba. **Anais do VI Seminário de Tecnologia Agrônômica**. Cooperativa de Produtores de Cana, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo Ltda. Piracicaba, SP. Nov. 1994.

ROSSETTO, R. **Calibração da adubação N e K em soqueiras de cana-de-açúcar colhidas sem queima prévia**. Piracicaba: Apta - Polo Centro Sul, 2005. (Relatório Usina Iracema).

ROSSETTO, R.; CANTARELLA, H.; DIAS, F. L. F.; VITTI, A. C.; TAVARES, S. Cana-de-açúcar. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. (Ed.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Piracicaba: IPNI, 2010. v. 3, p. 161-230.

TRIVELIN, P. C. O. **Utilização do nitrogênio pela cana-de-açúcar**: três casos estudados com o uso do traçador  $^{15}\text{N}$ . 2000. 143 f. Tese (Livre-Docência)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Moagem da cana-de-açúcar e produção de açúcar e etanol – safra 2011/2012**. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br/historico-de-producao-e-moagem.php?idMn=32&tipoHistorico=4>>. Acesso em: 27 out. 2012.

URIBE, R. A. M.; GAVA, G. J. C.; SAAD, J. C. C.; KÖLLN, O. T. Produtividade de soqueira de cana-de-açúcar integrada à irrigação por gotejamento e à fertilização nitrogenada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 6, p. 1124-1133, nov./dez., 2013.

VALE, D. W.; PRADO, R. M.; PANCELLI, M. A. Análise econômica da adubação nitrogenada em soqueiras de cana-de-açúcar. **Revista STAB**, Piracicaba, v. 28, n. 2, nov./ dez., 2009.

VITTI, A. C., FAVARIN, J. L. Nutrição e manejo químico do solo para a cultura do milho. In: FRANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. (Ed.). **Tecnologia da produção de milho**. Piracicaba: Publique, 1997. p. 104-120.

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.