

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

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

PAULO FERNANDO DO NASCIMENTO AFONSO

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp – Campus
de Botucatu, para obtenção do título de
Mestre em Agronomia (Energia na
Agricultura)

BOTUCATU – SP

Junho – 2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

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

PAULO FERNANDO DO NASCIMENTO AFONSO

Orientadora: Profa. Dra. Maura Seiko Tsutsui Esperancini

Co-orientador: Prof. Dr. Glauber José de Castro Gava

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp – Campus
de Botucatu, para obtenção do título de
Mestre em Agronomia (Energia na
Agricultura)

BOTUCATU – SP

Junho – 2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

A257d Afonso, Paulo Fernando do Nascimento, 1968-
Dose ótima econômica de nitrogênio em cana-de-açúcar aplicada via fertirrigação por gotejamento / Paulo Fernando do Nascimento Afonso. - Botucatu : [s.n.], 2013
xiii, 66 f. : ils., tabs., grafs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2013
Orientador: Maura Seiko Tsutsui Esperancini
Coorientador: Glauber José de Castro Gava
Inclui bibliografia

1. Cana-de-açúcar - Irrigação. 2. Cana-de-açúcar - Produção. 3. Fertirrigação. 4. Produtividade agrícola. 5. Produtividade ótima econômica. I. Esperancini, Maura Seiko Tsutsui. II. Gava, Glauber José de Castro. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. IV. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

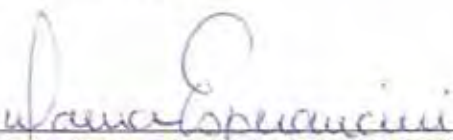
TÍTULO: “DOSE ÓTIMA ECONÔMICA DE NITROGÊNIO EM CANA-DE-AÇÚCAR
APLICADA VIA FERTIRRIGAÇÃO POR GOJETAMENTO”

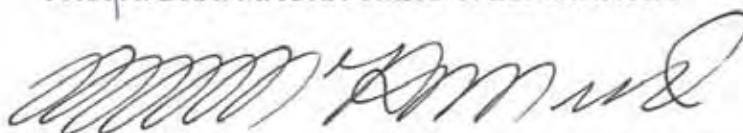
ALUNO: PAULO FERNANDO DO NASCIMENTO AFONSO

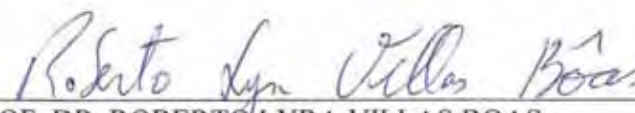
ORIENTADOR: PROFA. DRA. MAURA SEIKO T. ESPERANCINI

CO-ORIENTADOR: GLAUBER JOSÉ DE CASTRO GAVA

Aprovado pela Comissão Examinadora


PROFA. DRA. MAURA SEIKO T. ESPERANCINI


PROF. DR. LUIS CARLOS FERREIRA DE ALMEIDA


PROF. DR. ROBERTO LYRA VILLAS BOAS

Data da Realização: 26 de junho de 2013.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me dar essa grande oportunidade e assim poder estar nessa instituição tão conceituada;

Ao Prof. Dr. Ângelo Catâneo (*in memoriam*) que abriu as portas da UNESP – FCA me apresentando aos professores;

A Profa. Dra. Maura Seiko Tsutsui Esperancini, toda a minha gratidão, porque acreditou no meu potencial e me aceitou como seu orientado;

Ao pesquisador Dr. Glauber José de Castro Gava pela co-orientação e disposição do seu tempo, compartilhando conhecimentos e amizade;

Ao Prof. Dr. Roberto Lyra Villas Boas pelas valiosas sugestões que enriqueceram muito este trabalho;

Ao Prof. Dr. Luiz César Ribas pelas sugestões na qualificação;

Ao pessoal da Biblioteca, pela paciência e educação que sempre me atenderam;

À Seção de Pós-Graduação, por toda atenção prestada.

E a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	VI
LISTA DE FIGURAS	VII
APÊNDICE 1	VIII
1 RESUMO	1
2 SUMMARY	3
3 INTRODUÇÃO.....	5
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
4.1 Importância e função dos fertilizantes na agricultura.....	9
4.2 Rota de produção da ureia.....	10
4.3 Participação dos fertilizantes no aumento da produção	11
4.4 O mercado brasileiro de fertilizantes.....	13
4.5 Evolução dos preços do nitrogênio.....	16
4.6 Evolução dos preços da cana-de-açúcar	18
4.7 Dependência externa.....	20
4.8 Sistemas de irrigação	23
4.8.1 Irrigação por superfície	25
4.8.2 Irrigação por aspersão	25
4.8.3 Irrigação localizada por gotejamento	26
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	30
5.1 Fonte de dados.....	30
5.1.1 Experimento 1 - 2ª soqueira – safra 2008/2009	31
5.1.2 Experimento 2 - 3ª soqueira – safra 2009/2010	32
5.2 Método.....	33
5.2.1 Métodos de avaliação da dosagem ótima econômica de nitrogênio	33
5.2.2 Relações físicas na produção	34
5.2.3 Relações monetárias na produção.....	35
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
6.1 Relações físicas na produção – 2ª soqueira – safra 2008/2009	37

6.1.1 Produtividade física média (PFMe).....	39
6.1.2 Produtividade física marginal (PFMa)	40
6.2 Cenários para as relações monetárias na produção – 2ª soqueira – safra 2008/2009	41
6.2.1 Cenário pessimista para o preço da cana-de-açúcar	42
6.2.2 Cenário médio para o preço da cana-de-açúcar.....	43
6.2.3 Cenário otimista para o preço da cana-de-açúcar	44
6.2.4 Cenário atual para o preço da cana-de-açúcar	44
6.2.5 Análise dos cenários	45
6.3 Relações físicas na produção – 3ª soqueira – safra 2009/2010	46
6.3.1 Produtividade física média (PFMe).....	48
6.3.2 Produtividade física marginal (PFMa)	49
6.4 Cenários para as relações monetárias na produção – 3ª soqueira – safra 2009/2010	50
6.4.1 Cenário pessimista para o preço da cana-de-açúcar	50
6.4.2 Cenário médio para o preço da cana-de-açúcar.....	51
6.4.3 Cenário otimista para o preço da cana-de-açúcar	52
6.4.4 Cenário atual para o preço da cana-de-açúcar	53
6.4.5 Análise dos cenários	53
7. CONCLUSÕES	55
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
APÊNDICE 1	64

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Balanço de fertilizantes – Brasil (1000 toneladas de produtos).....	15
Tabela 2. Desempenho da produção nacional agro-vegetal (médias trienais).....	16
Tabela 3. Produção, importação e oferta de produtos intermediários para fertilizantes (toneladas) – 2011	22
Tabela 4. Produtividade média de colmos – 2ª soqueira – safra 2008/2009.....	32
Tabela 5. Produtividade média de colmos – 3ª soqueira – safra 2009/2010.....	32
Tabela 6. Relações físicas entre N usado na adubação, a produtividade de cana-de-açúcar e a produtividade física média (PFMe) - safra 2008/2009	39
Tabela 7. Ponto de máximo da produtividade física – safra 2008/2009	41
Tabela 8. Preços para a cana-de-açúcar e o nitrogênio – jan/2008 a dez/2012	42
Tabela 9. Cenários em função dos preços do N e da cana-de-açúcar – safra 2008/2009.....	46
Tabela 10. Relações físicas entre N usado na adubação, a produtividade de cana-de-açúcar e a produtividade física média (PFMe) – safra 2009/2010	48
Tabela 11. Ponto de máximo da produtividade física – safra 2009/2010.....	50
Tabela 12. Cenários em função dos preços do N e da cana-de-açúcar – safra 2009/2010.....	54

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Rota de produção de fertilizantes nitrogenados – uréia	10
Figura 2. Preço médio mensal pago pela agricultura paulista para o kg de N (ureia) – jan/2008 a dez/2012 – deflacionados pelo IPG-DI.....	17
Figura 3. Preço médio mensal recebido pela agricultura paulista para a tonelada de cana-de-açúcar – jan/2008 a dez/2012 – deflacionados pelo IPG-DI	20
Figura 4. Importação, produção e consumo de fertilizantes nitrogenados (em mil t)	21
Figura 5. Detalhe do espaçamento utilizado entre as linhas de cana-de-açúcar.....	31
Figura 6. Curva de resposta do rendimento de cana-de-açúcar em função de doses crescentes de N aplicadas – safra 2008/2009.....	38
Figura 7. Curva de resposta do rendimento de cana-de-açúcar em função de doses crescentes de N aplicadas – safra 2009/2010.....	47

APÊNDICE

Página

Anexo 1. Preços médios mensais pagos e recebidos pelos agricultores.....	65
--	----

1 RESUMO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, e seu cultivo têm elevada importância sócio-econômica no cenário brasileiro. Com aproximadamente 9,9 milhões de hectares plantados, a cana-de-açúcar é a terceira cultura, depois da soja e do milho, que mais demanda fertilizantes no Brasil. 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⁻¹ de N em soqueiras, quando comparado a outros países com produtividades comparáveis, as doses de N são geralmente superiores a 120 kg ha⁻¹ de N e, em alguns casos, atingem 200 kg ha⁻¹ 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. Dois experimentos com aplicação de nitrogênio em soqueira de cana-de-açúcar via irrigação localizada por gotejamento, foram conduzidos na Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento (UPD) de Jaú/SP, da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA) Pólo Centro-Oeste, nas safras 2008/2009 e 2009/2010. Avaliou-se a 2ª e 3ª soqueira da cultivar SP80-3280. Os experimentos em condições de campo foram instalados no mesmo local e constituídos de três doses de N na safra 2008/2009 (70, 140, 210 kg N ha⁻¹) e quatro doses de N na safra 2009/2010 (50, 100, 150, 200 kg N ha⁻¹). No experimento da 2ª soqueira, para obtenção da receita líquida de R\$ 6.092,56 ha⁻¹, a produtividade econômica ótima foi de 139,9 t ha⁻¹ de cana-de-açúcar com aplicação de 170,2 kg ha⁻¹ de nitrogênio. No experimento da 3ª soqueira, com 166,7 kg ha⁻¹ de nitrogênio, a produtividade ótima econômica foi de 109,6 t ha⁻¹, gerando um lucro máximo de R\$ 4.671,26 ha⁻¹.

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

DROP OPTIMUM ECONOMIC OF NITROGEN IN SUGARCANE APPLIED BY WAY OF FERTIRRIGATION DRIP

Botucatu, 2013. 67p.

Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura)

Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista

Author: PAULO FERNANDO DO NASCIMENTO AFONSO

Adviser: MAURA SEIKO TSUTSUI ESPERANCINI

Co-Adviser: GLAUBER JOSÉ DE CASTRO GAVA

2 SUMMARY

Brazil is the world's largest producer of sugar cane, and its cultivation has a highly socio-economic importance in Brazil. With approximately 9.9 million hectares planted, sugar cane is the third culture coming right after soybeans and corn, which demands more fertilizer in Brazil. The fertilization is an important factor to increase the productivity of sugar cane, and nitrogen is one of the nutrients that limit the crop productivity. The sugar cane in Brazil is fertilized with doses between 60 and 120 kg N ha⁻¹ in ratoon, when compared to other countries with comparable yields, N rates are generally higher than 120 kg ha⁻¹ N, and in some cases reach 200 kg ha⁻¹ N. The fertilizer has a significant impact on the composition of the production costs of the crop of sugar cane. In 2011, the Center-South region of Brazil, the exchange ratio, in other words, the amount needed to buy a ton of fertilizer was an average of 19.2 tons of sugar cane. With 78% of the nitrogen consumed in agriculture, Brazil stands out among the world's leading importers of nutrient. The scale of the economic return of commercial cultivation of sugar cane is basically supported on three points: physical performance, production cost and price of sugar cane. So economic studies of nitrogen application have a direct effect on the profitability of the crop of sugar cane. Two experiments with application of nitrogen in ratoon sugar cane via drip irrigation were conducted at the

Research and Development (UPD) of Jaú / SP, the Agência Paulista de Tecnologia do Agronegócio (APTA) Pole Midwest, harvests in 2008/2009 and 2009/2010. It was evaluated the second and third ratoon variety SP80-3280. The experiments under field conditions were installed in the same place and consist on three N rates in 2008/2009 season (70, 140, 210 kg N ha⁻¹) and four N rates in 2009/2010 (50, 100, 150, 200 kg N ha⁻¹). In the 2nd ratoon experiment, to obtain the net revenue of R\$ 6.092,56 ha⁻¹, the optimum economic productivity was 139,9 t ha⁻¹ of sugar cane with application of 170,2 kg ha⁻¹ nitrogen. In the 3rd ratoon experiment with 166,7 kg ha⁻¹ nitrogen, the optimum economic productivity was 109,6 t ha⁻¹, generating a net revenue of R\$ 4.671,26 ha⁻¹.

Keywords: Irrigation, sugarcane, optimal economic productivity

3 INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira vem sofrendo 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, além do aumento na demanda por biocombustíveis, com destaque para o etanol utilizado nos automóveis com motores flex. Por essas razões, a demanda por fertilizantes está em crescimento no Brasil (NOGUEIRA, 2008).

No caso do cultivo da cana-de-açúcar, a cultura tem elevada importância sócio-econômica no cenário brasileiro. O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, apresentando aumentos significativos, tanto em sua área colhida, como no aumento da 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 m³ de etanol (UNICA, 2012).

A produtividade média da cana-de-açúcar no Brasil é de 80 t ha⁻¹ de colmos. No estado de São Paulo, a média atinge 90 t ha⁻¹ de colmos. É importante salientar

que ao longo dos últimos anos, houve ganhos expressivos de produtividade, alcançada por aporte tecnológico, 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 (ANDA, 2012). A adubação é um importante fator para ampliar 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 e ENDRES, 2011).

Do ponto de vista energético, os fertilizantes representam de 30 a 37% do total de energia consumida em produção de cana-soca, sem levar em consideração o acréscimo que se faria às percentagens caso fossem incluído o consumo de combustível para as operações de fertilização (SERRA et al., 1979).

O nitrogênio é de extrema importância para a cultura de cana-de-açúcar, pelo fato de ser parte constituinte de todos os aminoácidos, proteínas e ácidos nucléicos, participantes direta ou indiretamente de vários processos bioquímicos. A carência do nitrogênio promove a diminuição na síntese de clorofila e aminoácidos essenciais e também na energia necessária à produção de carboidratos e esqueletos carbônicos, refletindo diretamente no desenvolvimento e produtividade da cultura (MALAVOLTA et al., 1997). Uma das maiores limitações do meio a produtividade da cana-de-açúcar, nas regiões canavieiras do Brasil, é a disponibilidade de nutrientes nos solos, com destaque para o nitrogênio (TRIVELIN, 2000). O suprimento de nitrogênio favorece o bom desenvolvimento do canavial, estimulando a brotação, o enraizamento e o desenvolvimento de perfilhos (CASARIN, 2010).

O nitrogênio é, depois do potássio, o nutriente mineral acumulado em maior quantidade na planta de cana-de-açúcar. Para toda a planta, a exigência em N atinge 2,1 a 2,4 kg por tonelada de colmo (CANTARELLA e ROSSETO, 2010). Esses números indicam que a cana-de-açúcar extrai mais de 200 kg ha⁻¹ de N para a produção de 100 t ha⁻¹ de colmos.

Os fertilizantes nitrogenados quando aplicados ao solo 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 e TRIVELIN, 2010).

De acordo com estudos realizados com ^{15}N , o N aplicado em cana-de-açúcar tem baixa recuperação pela planta, situando-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 e 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⁻¹ de N em soqueiras (CANTARELLA e ROSSETTO, 2010). Em outros países produtores de cana-de-açúcar com produtividades comparáveis, as doses de N são geralmente superiores a 120 kg ha⁻¹ e, em alguns casos, atingem 200 kg ha⁻¹ (DONZELLI, 2007).

O nitrogênio é um produto derivado da exploração do petróleo. Portanto, os preços domésticos pagos pelos produtores agrícolas no Brasil acompanham a oscilação dos preços do mercado mundial.

Além disso, verifica-se que o Brasil é fortemente dependente das importações de fertilizantes nitrogenados, pois 74% da ureia têm sua origem no mercado externo (ANDA, 2012).

Com o alto custo dos fertilizantes é preciso maximizar seus benefícios na aplicação. A irrigação localizada apresenta-se como uma resposta para esse desafio, onde a água e os fertilizantes são colocados simultaneamente através do sistema de gotejamento. Utilizando essa técnica, os riscos de perda do nutriente são reduzidos, pois diferente da aplicação convencional, onde o nutriente é aplicado na maioria das vezes em uma única dose, com a irrigação localizada por gotejamento a planta recebe o nutriente em várias doses. A irrigação localizada por gotejamento assegura que os nutrientes são supridos com precisão na área com maior atividade intensiva da raiz de acordo com os requerimentos específicos da cultura e tipo de solo resultando em produções maiores de cana-de-açúcar.

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. Por isto deve-se garantir a máxima eficiência, principalmente do ponto de vista econômico, na

utilização deste insumo. Uma das formas de garantir a eficiência econômica na utilização de um insumo específico é determinar sua dose ótima econômica.

A produtividade ótima econômica se dá num ponto diferente da produtividade máxima da produção. Desta forma, o objetivo é estimar a eficiência econômica da utilização de nitrogênio na produção de cana-de-açúcar irrigada por gotejamento, determinando por meio de cenários a dose economicamente ótima de nitrogênio, tendo em vista as variações dos preços relativos da cana-de-açúcar e do nitrogênio.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Importância e função dos fertilizantes na agricultura

Fertilizantes são substâncias químicas que, aplicados aos solos, contêm nutrientes essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas. A Organização Mundial para a Alimentação e Agricultura (FAO) define fertilizante como “*qualquer material natural ou industrializado que contenha, pelo menos, cinco por cento de um ou mais dos três nutrientes primários: N, P_2O_5 , K_2O* ” (FAO/IFA, 2002).

Os fertilizantes têm uma participação fundamental na produtividade das culturas, por meio da reposição dos elementos do solo retirados em cada colheita.

Os elementos químicos presentes nos fertilizantes são divididos em: macronutrientes primários (nitrogênio, fósforo, potássio), macronutrientes secundários (cálcio, magnésio e enxofre) e os micronutrientes (boro, cloro, cobre, ferro, manganês, molibdênio, zinco, sódio, silício e cobalto). Os macronutrientes - nitrogênio, fósforo e potássio - são os nutrientes mais importantes ao desenvolvimento das plantas e demandados em maiores quantidades. São expressos na forma de nitrogênio (N), pentóxido de fósforo (P_2O_5) e óxido

de potássio (K_2O). Os demais macro e micronutrientes, apesar da importância biológica, não tem expressão econômica na indústria de fertilizantes, nem valorização comercial significativas, por serem utilizados em quantidades muito pequenas (DIAS e FERNANDES, 2006).

Os nutrientes são formadores de muitos dos componentes das plantas, tais como proteínas, ácidos nucléicos e clorofila, e são essenciais para processos como transferências de energia, manutenção da pressão interna e ação enzimática. Tem sido estabelecida uma relação estreita entre consumo de fertilizantes e produtividade. Os fertilizantes, junto com a água, são os elementos que mais contribuem para o aumento da produção agrícola (ISHERWOOD, 2000).

O nitrogênio é considerado o motor de crescimento da planta e o constituinte essencial das proteínas. Sua correta aplicação é importante para a absorção dos outros nutrientes pelas plantas (LOUREIRO e NASCIMENTO, 2008).

4.2 Rota de produção da ureia

Na produção da mistura de N são utilizados diferentes produtos. A rota de produção de fertilizantes nitrogenados, especificamente a ureia, é um complexo produtor que envolve atividades que vão desde a extração da matéria-prima até a composição de formulações aplicadas diretamente na agricultura (Figura 1).

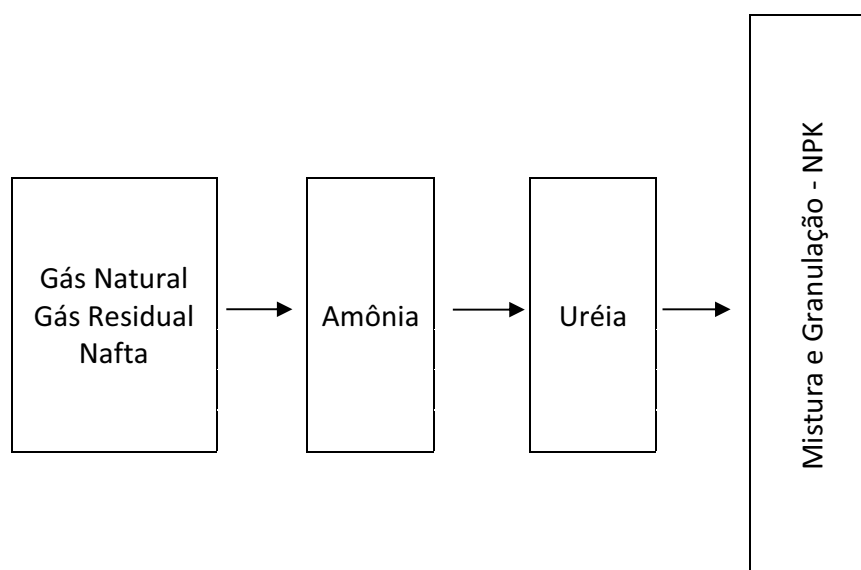


Figura 1. Rota de produção de fertilizantes nitrogenados - ureia
Fonte: Elaboração própria.

A produção de fertilizantes nitrogenados de origem mineral tem como matéria-prima principal a amônia (NH_3), que é uma combinação em sistemas de alta pressão e temperatura do nitrogênio (N_2) do ar e do hidrogênio (H) procedente do gás natural, da nafta e de outros derivados do petróleo. Cerca de 90% da produção de amônia têm como fonte primária o gás natural (MALAVOLTA e MORAES, 2006).

A amônia (NH_3) é o composto-chave da produção de quase todos os fertilizantes nitrogenados. A síntese direta da amônia foi desenvolvida na Alemanha, em 1913, no processo conhecido como Haber-Bosch (KULAI, 2009).

A amônia é utilizada na elaboração de fertilizantes básicos como a ureia, que é um composto nitrogenado sólido, que se apresenta na forma de grânulos brancos e possui 45% de N. É o fertilizante nitrogenado mais utilizado no mundo. Mais de 90% da produção mundial de N é destinada para uso como fertilizante (FACRE, 2007).

4.3 Participação dos fertilizantes no aumento da produção

A suspensão no uso de fertilizantes minerais levaria a produção das culturas para níveis sustentáveis apenas pela matéria orgânica do solo, causando a queda progressiva das produtividades à medida que as reservas de matéria orgânica do solo fossem utilizadas. Na ausência de fertilizantes, é provável que os sistemas de produção e os métodos de manejo mudariam, mas, apesar de todos os esforços, é certo que a estrutura atual e as produções agrícolas não poderiam ser mantidas (ISHERWOOD, 2000).

A produção agrícola está diretamente relacionada à fertilidade do solo. Todavia, quanto maior a produtividade de uma cultura, maior também será a remoção de nutrientes.

Gava et al. (2011) em trabalhos sobre produtividade com três cultivares cana-de-açúcar – RB867515, RB855536, SP80-3280 - sob manejo de sequeiro e irrigado por gotejamento mostrou que a média dos cultivares estudados, foi de $132,2 \text{ t ha}^{-1}$ para o manejo irrigado por gotejamento e de $106,5 \text{ t ha}^{-1}$ para o manejo de sequeiro, no primeiro ciclo de cultivo (2006/2007); no segundo ciclo (cana-soca), a média foi de $126,2 \text{ t ha}^{-1}$ e $90,8 \text{ t ha}^{-1}$

para o manejo irrigado e de sequeiro, respectivamente. Neste experimento, a irrigação por gotejamento elevou a produtividade média em 20% no ciclo da cana-planta e de 28% no ciclo cana-soca.

Dalri e Cruz (2002) verificando o efeito de frequência da irrigação localizada por gotejamento alta, média, baixa e testemunha (sem irrigação) no desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar, baseados no controle de evaporação do Tanque Classe “A” concluiu que não houve diferença significativa entre os tratamentos irrigados, a média foi de 143 t ha^{-1} , mas houve um aumento de 45% em relação à testemunha, que ficou em 98 t ha^{-1} .

Em dois ciclos estudados (2º e 3º ciclo), as maiores produtividades de cana-de-açúcar com irrigação localizada por gotejamento foram obtidas com doses de 180 e 225 kg ha^{-1} de N, e a diferença de produtividade foi de 43,5% na cana soca e 67,2% na ressoca em relação à testemunha, evidenciando que a irrigação elevou significativamente a produtividade da cultura (DALRI e CRUZ, 2008).

Andrade Júnior et al. (2009) em ensaios conduzidos em cana-planta na Usina COMVAP, União/PI, de outubro de 2007 a junho de 2008, mostraram que a aplicação combinada de 306 mm de irrigação por gotejamento, 59 kg ha^{-1} de N e de 35 kg ha^{-1} de K_2O possibilitou o alcance de rendimento máximo de colmos de $137,9 \text{ t ha}^{-1}$, um acréscimo de 25,4% em relação à testemunha controle sem irrigação e com adubação convencional, que produziu 110 t ha^{-1} .

Darlan et al. (2011) conduzindo experimentos na cultivar RB867515 (1ª soca) sob diferentes níveis de irrigação mostrou que houve influência positiva do fator irrigação nas variáveis biométricas, contribuindo diretamente para a produção final da cultura. A média de produção dos tratamentos irrigados foi de $150,4 \text{ t ha}^{-1}$, 49% acima da testemunha que ficou em 101 t ha^{-1} .

Thourburn et al. (2003) estudaram a importância da fertirrigação com N-fertilizante em quatro ciclos de produção (cana planta e três soqueiras), e concluíram que a produtividade de colmos e de açúcar respondeu à adubação nitrogenada via fertirrigação.

Na usina Cururipe, situada no Estado de Alagoas, na safra 2003/2004 obteve-se em 27.712 hectares, a produtividade média de $91,4 \text{ t ha}^{-1}$. No caso da cultivar SP79-1011, as médias da soca e da ressoca sob duas ou três irrigações de 60 mm por irrigação

em comparação com as não irrigadas, foram de 111,3 t ha⁻¹ e 89,2 t ha⁻¹, respectivamente (SANTOS, 2005).

Silva et al. (2009) em ensaio executado na destilaria Miriri, município de Capim/PB, com a cultivar SP71-6949 sob regime de irrigação revelou que a maior produtividade de colmos de 108,2 t ha⁻¹ foi obtido com o nível de adubação de 236 kg ha⁻¹ de N mais 222 kg ha⁻¹ de K₂O.

Conforme Netafim (s.d.), na região de Suazilândia – África, a irrigação por gotejamento localizado em cana-de-açúcar, cultivada em 6.715 hectares por nove anos, registrou um aumento médio de 107 t ha⁻¹ para 126 t ha⁻¹.

Vitti et al. (2007) em experimento de campo nos anos agrícolas 1999/2000 e 2000/2001 para a cultivar SP81-3250 em sequeiro mostra que aplicação de nitrogênio em doses crescente até 175 kg ha⁻¹ respondeu de forma linear na produtividade de colmos de 2^a soca, o mesmo se repetindo para a 3^a soca.

Vale et al. (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⁻¹ promoveu incremento de 170% na relação benefício/custo, se comparado a aplicação de N igual a 50 kg ha⁻¹.

Conforme descrito nas citações pelos autores, existem incrementos positivos de produtividade da cana-de-açúcar com a irrigação localizada por gotejamento em relação à cana-de-açúcar de sequeiro. Além da maior disponibilidade e melhor aproveitamento da água pela planta, o nitrogênio pode ser aplicado em doses ao longo do ciclo da cultura, evitando a maior probabilidade de perdas.

4.4 O mercado brasileiro de fertilizantes

Nos últimos anos, o mercado de fertilizantes no Brasil tem apresentado taxas significativas de crescimento. O país é o quarto consumidor mundial de fertilizantes NPK, atrás apenas da China, dos Estados Unidos e da Índia, e o quinto quando se considera o consumo de nitrogênio (N).

O consumo de fertilizantes por hectare agricultável é de 120 kg ha⁻¹. Apesar disso, a aplicação de fertilizantes nas lavouras ainda é baixa em relação aos países de agricultura desenvolvida (LOUREIRO e NASCIMENTO, 2008).

Em 2011, o consumo mundial de fertilizantes atingiu 178,2 milhões de toneladas de nutrientes, um crescimento de 3% comparado ao ano de 2010, enquanto o consumo brasileiro no mesmo período cresceu 15%, fechando o ano de 2011 com participação de 6,5% do consumo mundial de nutrientes (ANDA, 2012). No entanto, esse crescimento na participação mundial tem ocorrido via aumento das importações, visto que a indústria doméstica não consegue suprir a demanda nacional que tem crescido a altas taxas.

De acordo com estimativas, a Organização das Nações Unidas (ONU) aponta para um crescimento de 75 milhões de novos consumidores de alimentos a cada ano (INFORME SETORIAL, 2010). Parte crescente dessa demanda por alimentos deverá ser suprida pelo Brasil, através da expansão de sua área agrícola e do maior emprego de fertilizantes para aumento da produtividade.

Atualmente o Brasil importa grande parte dos insumos para a produção de fertilizantes, e essa demanda tem aumentado a taxas superiores ao crescimento da oferta. A indústria de fertilizantes também sofreu um intenso movimento de internacionalização, resultado do processo de fusões e aquisições, tornando o setor mais concentrado, refletindo num setor agropecuário com menor poder de barganha, o que tem aumentado sensivelmente seus custos de produção (INFORME SETORIAL, 2010).

A dependência externa de fertilizantes e a concentração industrial podem tornar-se um entrave à produção e à competitividade dos produtos brasileiros. A produção de fertilizantes nitrogenados no Brasil ainda é insuficiente frente ao consumo interno (INFORME SETORIAL, 2010).

No período de 2009 a 2011, houve um forte aumento na demanda de fertilizantes, sendo que o volume passou de 14 milhões de toneladas para 29,7 milhões de toneladas (Tabela 1), dos quais 19,8 milhões de toneladas originadas de importações e 9,8 milhões de toneladas da produção interna (ANDA, 2012).

Tabela 1 - Balanço de fertilizantes - Brasil		(1000 toneladas de produtos)		
Itens	2009	2010	2011	
1. Estoque Inicial (Indústria)	6.404	3.470	3.453	
2. Produção	8.372	9.340	9.861	
3. Importação	11.021	15.282	19.851	
4. Oferta (2+3)	19.393	24.622	29.712	
5. Exportação	(424)	(740)	(675)	
6. Micronutrientes/Aditivos	876	984	1.200	
7. Quebras/Ajustes	(379)	(367)	(237)	
8. Disponibilidade (1+4+5+6+7)	25.870	27.969	33.453	
9. Estoque Final (Indústria)	3.470	3.453	5.127	
10. Total de Entregas (8-9)	22.400	24.516	28.326	

Fonte: ANDA (2012).

O mercado para consumo de fertilizantes é concentrado em quatro principais culturas: soja (34%), milho (17%), cana-de-açúcar (15%) e café (7%). As quatro principais culturas agrícolas somadas são responsáveis por aproximadamente 73% das vendas de fertilizantes no mercado brasileiro.

A evolução da produtividade agrícola nacional está em grande parte relacionada ao aumento no consumo de fertilizantes. A totalidade do consumo de fertilizantes NPK no Brasil tem sido estreitamente relacionada com a produção total das 16 principais culturas (Tabela 2). Estima-se que o consumo de fertilizantes nitrogenados na agricultura brasileira em 2015 seja de 3,8 milhões de toneladas. Este aumento no consumo do nutriente deverá ser muito mais resultado do aumento na área plantada, do que aumento no consumo médio do nutriente por hectare (LOPES et al., 2007).

Tabela 2. Desempenho da produção nacional agro-vegetal (médias trienais)

Indicadores	97/98 a 99/00	00/01 a 02/03	03/04 a 05/06	06/07 a 08/09	09/10 a 11/12
Produção Agro-Vegetal (1.000 t) (1)	141.062	169.425	191.854	239.157	267.826
Produção de Grãos (1.000 t) (2)	80.173	104.694	116.134	135.629	155.073
Área Colhida - 16 culturas (1.000 ha)	45.472	49.543	58.062	59.127	62.522
Consumo de Adubos NPK – (1.000 t) (3)	5.592	7.029	9.195	9.626	10.279
Produtividade - Produção (kg ha ⁻¹)	3.102	3.420	3.304	4.045	4.284
Consumo NPK (kg ha ⁻¹ área colhida)	123	142	158	163	164
Consumo x Produtividade (kg t ⁻¹)	0,0397	0,0415	0,0478	0,0403	0,0383
Produção Grãos x Consumo NPK (t ⁻¹)	14,34	14,89	12,63	14,09	15,09
Produção Agro-Vegetal x Consumo NPK	25,23	24,10	20,87	24,84	26,06
População (1.000 hab.) (4)	165.690	172.387	180.879	186.790	191.518
Produção "Per Capita" (kg hab ⁻¹)	851	983	1.061	1.280	1.398

Obs.: (1) Considerada a produção dos 16 principais produtos de exportação e consumo interno, ajustando-se para base seca como segue: cana, mandioca e batata (15%), laranja e tomate (10%).

(2) Cereais e oleaginosas.

(3) Considera o consumo no ano de plantio da safra.

(4) Considera a população no ano da colheita da safra.

Fonte: ANDA (2012)

4.5 Evolução dos preços do nitrogênio

Os fertilizantes são *commodities*, sendo seu preço determinado pelo mercado internacional. São variáveis relevantes na formação do preço nacional dos fertilizantes o custo da matéria-prima, o custo do transporte marítimo, custos portuários, tributos externos e internos, e custo de transporte até os centros produtores (SAAB e PAULA, 2008).

Os preços internacionais dos fertilizantes revelaram uma intensa alta no ano de 2008, ano em que foi instalado o primeiro experimento (setembro/2008), atingindo em outubro o seu pico máximo quando o preço da tonelada de ureia atingiu, em valores deflacionados R\$ 1.786,49 t⁻¹ (APÊNDICE 1). Isso foi resultado da grande expansão no mercado agrícola interno que exerceu aumento na demanda de fertilizantes, e também o acelerado crescimento das economias da China e da Índia, que aumentaram o consumo de fertilizantes e, como a oferta mundial é concentrada em poucos países produtores e limitada por conta do seu alto custo de investimento e dotação de recursos naturais, houve reflexo no

aumento dos preços. Além disso, o petróleo e derivados que servem como insumos para o setor também tiveram elevação de seus preços (COSTA E SILVA, 2012).

No ano de 2009, ano que iniciou o segundo experimento (setembro/2009), a crise financeira mundial causou impacto sobre diversas *commodities* minerais, incluindo os fertilizantes. Além disso, no mercado mundial, também houve uma queda na demanda por *commodities* agrícolas, reduzindo a procura por fertilizantes. Tal fato levou os produtores a utilizarem os estoques de fertilizantes formados no período de alta, reduzindo ainda mais o preço. Recentemente, com a recuperação da demanda no mercado agrícola global, observa-se novamente uma alta na demanda por fertilizantes, causando um movimento ascendente nos preços (Figura 2).

Conforme Agrobrasconsult (2012), nos últimos anos, o preço do gás natural brasileiro, matéria-prima básica para a produção de amônia, tem sido praticamente o dobro do preço cobrado nos Estados Unidos, em regiões de transformação do gás em fertilizantes nitrogenados. Em abril de 2011, o gás natural era comercializado no Brasil a US\$ 11,32/MMBtu contra US\$ 5,61/MMBtu no Texas. No primeiro semestre de 2012 o preço médio do gás brasileiro entregue às indústrias foi de US\$ 14/MMBtu. Com o gás natural a esse preço, a produção brasileira de amônia é totalmente inviável, muito acima dos preços internacionais, inclusive de Trinidad e Tobago, principal fornecedor de amônia ao mercado brasileiro.

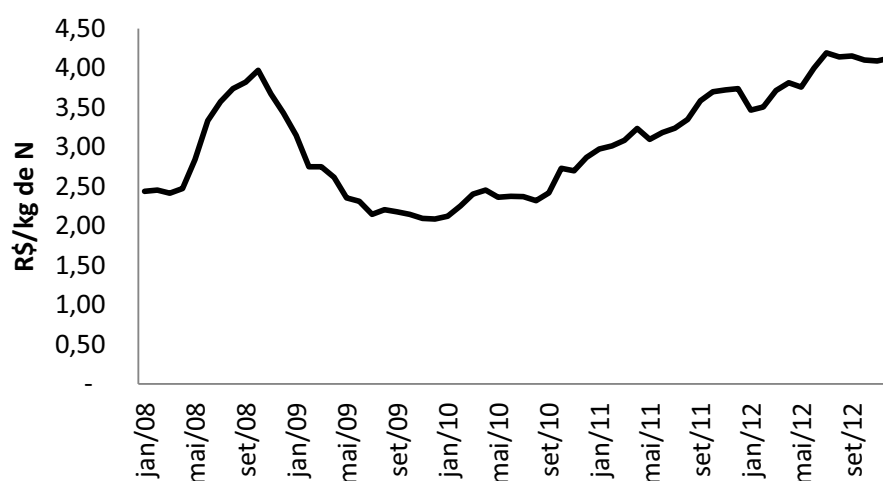


Figura 2. Preço médio mensal pago pela agricultura paulista para o kg de N (ureia) - jan/2008 a dez/2012 – deflacionados pelo IGP-DI.

Fonte: IEA (2012) - Elaboração própria

As principais razões para as variações de preços da ureia estão ligadas a fatores como: a uma expressiva demanda represada; preços altos da amônia em função de problemas de funcionamento de plantas importantes para este setor; aumento ou queda do preço do gás em importantes regiões do mundo; principais produtores com vendas para entregas futuras fazendo com que a oferta do produto seja menor; compras do Brasil a partir de meados do segundo semestre do ano, quando a China entra no mercado ofertando seus produtos – variavelmente a partir do mês de julho e países produtores com períodos de sanções econômicas (TAVARES e HABERLI JUNIOR, 2011).

4.6 Evolução dos preços da cana-de-açúcar

Nos últimos quatro anos, a produção de cana-de-açúcar no Brasil sofreu reveses advindos da crise financeira de 2008/09, que levou a uma redução no ritmo de renovação dos canaviais e, portanto, ao envelhecimento dos mesmos, além das sucessivas condições climáticas anormais desde 2009. Primeiro, pelas chuvas muito acima do normal em 2009, e depois pelos anos seguidos de seca em 2010, 2011 e na primeira metade de 2012 (NASTARI, 2012).

Com todos esses reveses, os investimentos no setor sucroalcooleiro foram paralisados. Além de encolher os créditos, também ampliou os custos de plantio, retratado na alta dos preços dos fertilizantes, tornando a produção mais cara. O setor presenciou a redução dos investimentos, inclusive os de capital estrangeiro, que chegaram ao país no auge do etanol por meio de empresas como BP, Shell e Bunge.

O dinheiro ficou mais escasso também para a manutenção e renovação do canavial. Por último, a turbulência mundial também obrigou usineiros brasileiros a fechar as portas. Tudo isso, contribuiu para a queda da produtividade do setor inteiro nos últimos anos. O setor viveu uma "crise de custos", que englobou desde salários, recuperação de áreas de preservação ambiental e perda de produtividade até falta de crédito (UNICA, 2013). Na safra 2008/2009, período de instalação do primeiro experimento, o valor pago pela tonelada de cana-de-açúcar em valores deflacionados foi de R\$ 35,68 t⁻¹. Na safra 2009/2010, período do segundo experimento, os valores atingiram R\$ 42,21 t⁻¹.

Essas intempéries acabaram contribuindo para o aumento do custo do etanol, impacto que muitas vezes não foi repassado para o preço, devido a sua já desvantajosa posição em relação à gasolina. Mas acabou aprofundando o endividamento do setor e reduzindo sua capacidade de produção fechando esse ciclo de crise do etanol.

No ano de 2008, a demanda aquecida para o açúcar resultou em preços relativamente firmes para toda a safra 2008/09. Nem mesmo a forte volatilidade do mercado internacional da *commodity* no segundo semestre reduziu os preços internos. Com a produção voltada para o etanol e o açúcar VHP (exportação) em grande parte da safra, os preços internos do açúcar cristal se mantiveram firmes mesmo em pleno pico de colheita. Apesar da crise financeira no segundo semestre, que reduziu os preços de muitas *commodities*, o açúcar conseguiu se elevar. O principal fundamento foram as estimativas do mercado mundial para um déficit de 3,6 milhões de toneladas para a próxima temporada (CEPEA, 2008).

No último trimestre de 2008, diante da falta de crédito no mercado mundial, as usinas aumentaram as vendas de etanol, por apresentarem maior liquidez, amenizando eventuais pressões de venda do açúcar, o que, somado à perspectiva de déficit mundial, proporcionaram que os preços alcançassem no segundo semestre patamar superior ao do primeiro. Em dezembro, o Indicador CEPEA/ESALQ do açúcar cristal (estado de São Paulo) teve média de R\$ 31,73 sc^{-1} de 50 kg, alta de 3,2% em relação à do mês anterior (CEPEA, 2008).

O mercado de açúcar brasileiro entrou 2009 com preços firmes, devido à menor oferta em importantes países produtores, como Índia e Rússia, associada a um consumo mundial superior à oferta. As exportações mantiveram o mesmo desempenho de uma safra para outra, impulsionadas pelos preços favoráveis no mercado internacional, reflexos que foram transmitidos para os preços domésticos. Em dezembro de 2009, o Indicador CEPEA/ESALQ atingiu R\$ 64,51 sc^{-1} , alta de 37,78% sobre o abril de 2009 quando o preço foi de R\$ 46,82 sc^{-1} . Comparativamente a safras passadas, esta alcança uma das maiores médias em termos reais (deflacionados pelo IGP-M), atingindo preços não vistos desde março de 2006. (CEPEA, 2009).

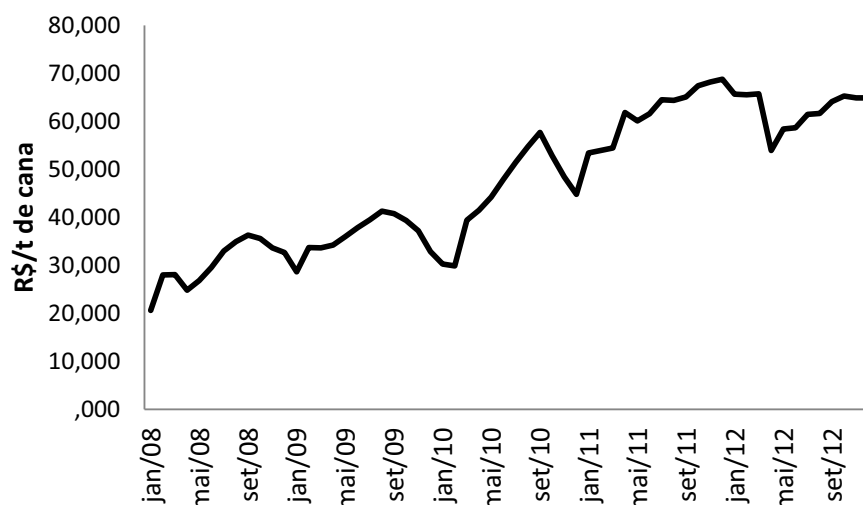


Figura 3. Preço médio mensal recebido pela agricultura paulista para a tonelada de cana-de-açúcar - jan/2008 a dez/2012 – Deflacionados pelo IGP-DI.

Fonte: IEA (2012) - Elaboração própria

4.7 Dependência externa

Como um grande produtor agrícola, o Brasil também é um grande consumidor de fertilizantes. A produção interna de insumos para fertilizantes é insuficiente para atender a grande demanda, e cerca de 67% dos fertilizantes consumidos na agricultura brasileira provêm de importações, deixando o país vulnerável a flutuações de câmbio e preços, além do risco da escassez de insumos básicos (COSTA e SILVA, 2012).

É um cenário preocupante, porque pode colocar em risco a posição do Brasil de fornecedor estratégico de alimentos ao mundo, uma vez que o seu setor agrícola acaba ficando exposto à tendência altista dos preços internacionais dos fertilizantes.

Em 1990, a indústria brasileira de fertilizantes nitrogenados era responsável por 81% da oferta interna e apenas 19% eram importados. Dez anos depois o cenário era bem diferente. No ano 2000, a produção caiu para 38% da oferta e as importações se elevaram para a 62%. O crescimento das importações se deu como única alternativa para atender ao rápido aumento da demanda interna, determinado pelo aumento da produção agrícola brasileira que, na época, era baseado principalmente na expansão das lavouras com a abertura de novas áreas (AGROBRASCONSULT, 2012).

A produção interna de fertilizantes nitrogenados no ano de 2010 atendeu aproximadamente a 24% da demanda. No entanto, a participação do consumo de adubos nitrogenados (Figura 4) cresceu na agricultura brasileira, mas a produção interna permaneceu praticamente estagnada nos últimos anos (COSTA e SILVA, 2012).

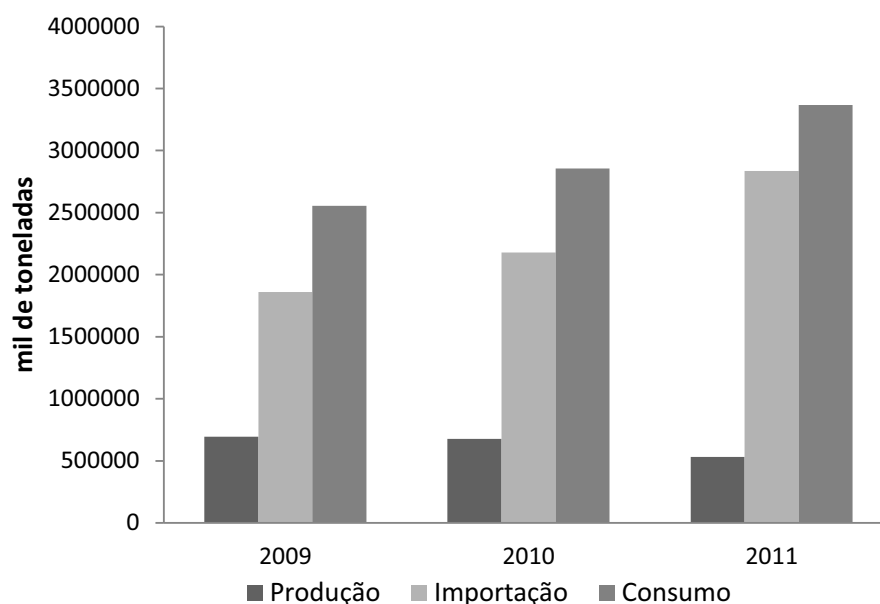


Figura 4. Importação, produção e consumo de fertilizantes nitrogenados (em mil t)
Fonte: ANDA (2012).

O déficit de fertilizantes na balança comercial brasileira não é apenas função da demanda aquecida do setor agrícola nacional, mas também da disponibilidade de matérias-primas e da estrutura de produção. O setor envolve altas economias de escala e, embora o país tenha potencialidades, não conta com nível adequado de investimentos. No setor petroquímico, por exemplo, a produção de insumos para fertilizantes nitrogenados depende da oferta de amônia e enxofre que, por sua vez, são subprodutos de petróleo e gás natural (BRASIL, 2011).

O país importa 86% de sua demanda por sulfato de amônio, 74% de ureia, 84% de nitrato de amônia (Tabela 3).

Tabela 3. Produção, importação e oferta de produtos intermediários para fertilizantes (toneladas) – 2011

Produtos Intermediários	Produção	Importação	Total	Importação / Oferta Total
Sulfato de Amônio	303.355	1.878.176	2.181.531	86%
Ureia	1.043.773	2.968.768	4.012.541	74%
Nitrato de Amônio	276.373	1.434.692	1.711.065	84%
Nitrato de Cálcio (teor N 15,5)	-	77.475	77.475	100%
Nitrato de Cálcio (teor N 27)	-	159.195	159.195	100%
DAP	-	467.411	467.411	100%
MAP	952.634	1.991.069	2.943.703	68%
Superfosfato Simples	5.476.401	612.072	6.088.473	10%
Superfosfato Triplo	859.507	1.012.341	1.871.848	54%
Sulfato de Potássio	-	5.676	5.676	100%
Sulfato de Potássio Magnésio	-	29.032	29.032	100%
Salitre Potássico	-	57.190	57.190	100%
Nitrato de Potássio	-	10.809	10.809	100%
Termofosfato	50.370	-	50.370	0%
Fosfato Natural	71.395	228.223	299.618	76%
Cloreto de Potássio	619.346	7.460.279	8.079.625	92%
Complexos (*)	207.628	1.458.661	1.666.289	88%
Total	9.860.782	19.851.069	29.711.851	67%

(*) Misturas

Fonte: ANDA (2012).

Além da produção de amônia pela Petrobras, em suas unidades localizadas na Bahia (Camaçari) e em Sergipe (Laranjeiras), a produção deve sofrer uma expansão a partir de 2015/2016, com a entrada em operação da nova fábrica em Mato Grosso do Sul (FIESP, 2012).

A UFN III (Unidade de Fertilizantes Nitrogenados) está em fase de implantação em Três Lagoas (MS), com previsão de início para 2014, e terá capacidade de produção de 1,2 milhões de t/ano de ureia e 70 mil t/ano de amônia. A outra UFNV a ser instalada em Uberaba (MG), com capacidade de 519 mil t/ano de amônia, ainda está cercada de indefinições, inclusive com relação à construção do gasoduto que levará o gás até a planta industrial. Isso significa que, considerando a produção das duas unidades, nos próximos cinco anos, a indústria nacional colocará mais 1,217 milhões de toneladas de nitrogênio no mercado interno, que deverá crescer, no mínimo, 3% ao ano até 2020. Até o final da década o consumo

deste nutriente pelas lavouras brasileiras passará dos atuais 2,955 milhões de toneladas para 3,726 milhões (AGROBRASCONSULT, 2012).

Poucos países do mundo possuem elevada capacidade de produção de nitrogênio, fósforo e potássio em conjunto, quais sejam Estados Unidos, China, Índia, Rússia e Canadá. A produção de insumos para fertilizantes, assim como outras áreas do setor químico, são intensivas em capital e exigem grandes escalas de produção. Uma vez fabricados os fertilizantes intermediários, a elaboração do fertilizante final é relativamente simples, bastando serem misturados e comercializados. Isto explica porque o setor de misturadores de fertilizantes é fragmentado, com centenas de produtores na ponta, enquanto o setor de produção de insumos é mais concentrado (BRASIL, 2011).

4.8 Sistemas de irrigação

A tendência para a implantação de novas unidades sucroalcooleiras está nas chamadas fronteiras agrícolas, nas regiões de Cerrados (Goiás, Mato Grosso do Sul), região Meio-Norte (Piauí e Maranhão) e estado de Tocantins, nas quais o déficit hídrico é bem maior do que nas tradicionais regiões de cana.

A irrigação de cana-de-açúcar deverá ser um assunto estratégico para as unidades sucroalcooleiras sob dois aspectos: primeiro, pela necessidade de renovação dos canaviais nos próximos anos devido ao seu envelhecimento e segundo, ao aumento da produção de cana-de-açúcar para atender a demanda do mercado de etanol combustível. No caso do aumento da produção de cana-de-açúcar, se as usinas passarem a irrigar seus canaviais de soqueira, em nove anos, a área de renovação poderia ser reduzida dos 4 milhões de hectares de sequeiro previstos para aproximadamente 2 milhões de hectares (NASCIMENTO e CHERUBIN, 2013).

Por outro lado, a irrigação promove aumento na produtividade agrícola, e os maiores problemas a serem enfrentados nos próximos anos estão relacionados à escassez dos recursos naturais como a água, indispensável à produção agrícola. A solução deverá ocorrer por meio da utilização de tecnologias capazes de maximizar esse recurso e elevar a produção agrícola das culturas exploradas. Isso só é possível com a prática de uma agricultura tecnicamente intensiva, em que a utilização da irrigação e de fertilizantes químicos torna-se necessária. Nesse contexto, o emprego dos sistemas de irrigação e o uso do manejo adequado

do solo, água, culturas e nutrientes são pontos importantes a serem considerados no aumento da produção agrícola e na preservação ambiental (SOUSA et al., 2002)

Na agricultura auto-sustentável e lucrativa, o fornecimento adequado e eficiente de fertilizantes químicos às culturas é uma prática que não deve ser excluída. Quando aplicados em quantidade e forma adequada, esses produtos trazem muitos benefícios para a agricultura moderna (RAIJ, 1987).

A necessidade de utilização efetiva e eficientes da água e fertilizantes leva os agricultores a adotarem uma técnica conjunta capaz de aplicar água e fertilizantes de forma simultânea. O aumento da eficiência no uso da água e fertilizantes pelo agricultor constitui um fator importante para aumentar a produção agrícola e evitar danos ambientais.

O critério para a escolha de um sistema de irrigação não deve ser avaliado somente do solo para cima, ou seja, é preciso saber se a umidade desejada permanece disponível para o sistema radicular das plantas depois de aplicada ao solo. Um estudo detalhado sobre as características do solo e o clima da região se faz necessário para a escolha de um sistema ideal de irrigação. Além disso, é preciso também conhecer a velocidade de infiltração de cada solo e assim poder determinar sua curva de retenção de água. Através de tensiômetros, é possível observar o teor de umidade para diferentes profundidades do solo e fazer o balanço hídrico entre outros levantamentos de informações extremamente importantes e úteis (NASCIMENTO e CHERUBIN, 2013).

Matioli (1998) define os benefícios da irrigação para a cultura da cana-de-açúcar em diretos e indiretos. Os benefícios diretos estão ligados ao aumento da produtividade e longevidade do canavial, enquanto os benefícios indiretos são aqueles relacionados com a redução de custos no processo de produção agrícola, proporcionados pelo aumento da produtividade, como a dispensa de arrendamentos, envolvendo o plantio desses arrendamentos, os tratos culturais e o transporte.

Os métodos mais comuns de irrigação são os de superfície, aspersão e gotejamento. Os sistemas de irrigação por superfície são os de menor custo por unidade de área; os de aspersão apresentam custo médio; e os de irrigação localizada, de maior custo (BERNARDO et al., 2006).

4.8.1 Irrigação por superfície

No método de irrigação de superfície, a distribuição de água no campo é concentrada em sulcos, e a taxa de aplicação da água no solo excede a taxa de infiltração, causando um fluxo de água sobre a superfície (SCARDUA e ROSENFELD, 1987).

Bernardo et al. (2006) afirma que a eficiência de aplicação de água varia entre 40% e 70% em sistemas de irrigação por superfície. De acordo com Sousa (2010), os principais sistemas utilizados na irrigação por superfície são:

- a) Irrigação por sulcos – consiste na condução da água em pequenos canais paralelos durante o tempo necessário para que a água, infiltrada ao longo do sulco, seja suficiente para umedecer o solo;
- b) Irrigação por faixas – a aplicação de água é feita através de faixas. Esse sistema se adapta as culturas cultivadas com pequeno espaçamento entre plantas e;
- c) Irrigação por inundação – a aplicação de água é feita por meio de bacias ou tabuleiros.

A irrigação por inundação é o sistema mais utilizado no Brasil e no Mundo.

As principais vantagens no sistema de irrigação por superfície são o baixo custo de implantação e menor dependência da qualidade da água. Suas limitações estão relacionadas aos solos excessivamente permeáveis.

4.8.2 Irrigação por aspersão

No método de irrigação por aspersão, a água é aspergida sobre a cultura por meio de dispositivos especiais chamados aspersores. O jato ao chocar-se com o ar pulveriza-se em gotas caindo sobre a cultura em forma de chuva artificial. Villas Boas et al. (2012) classifica quatro sistemas de irrigação por aspersão:

- a) Convencional – Consiste na aplicação de água através de aspersores, por meio de sistemas pressurizados. É o mais utilizado, em função do seu menor custo quando comparado aos demais;
- b) Autopropelido – é caracterizado por um aspersor tipo canhão, montado sobre uma carreta com unidade acionadora e carretel enrolador de mangueira. A principal vantagem é a economia de mão-de-obra e como desvantagens não é recomendado para

culturas delicadas e nem para regiões com fortes ventos, além da uniformidade de aplicação;

- c) Pivô central - caracteriza-se por uma linha lateral sustentada por uma série de torres triangulares, sobre rodas espaçadas que giram continuamente em torno de um ponto denominado “pivô”, onde se encontra o suprimento de água sob pressão. Para Bernardo et al. (2006) as principais vantagens são a baixa demanda de mão-de-obra, economia de tubulações e a mesma velocidade de movimentação em todas as irrigações e;
- d) Deslocamento linear – podem ser alimentados por canal ou por mangueiras, com duas ou quatro rodas no sistema central. Irrigam áreas quadradas, retangulares ou irregulares. Possuem maior eficiência de aplicação de água e fertilizantes em função do deslocamento frontal e de todas as torres estarem se movimentando ao mesmo tempo. Para Bernardo et al. (2006), a principal desvantagem é a necessidade de construção de canais ao longo da faixa irrigada. As principais vantagens são a facilidade de manejo, adapta-se em diversas condições de solo e cultura, baixa demanda de mão-de-obra e apresenta maior eficiência do que a irrigação por superfície. As principais limitações são o alto custo e limitações climáticas, vento e evaporação.

4.8.3 Irrigação localizada por gotejamento

Dentre os métodos de irrigação possíveis de utilização na cultura da cana-de-açúcar, tem-se destacado a irrigação localizada, principalmente, o gotejamento sub-superficial. O gotejamento consiste no método onde a água é aplicada próxima as raízes com pequena intensidade e intervalos reduzidos entre irrigações (VILLAS BOAS et al., 2012). Esse sistema apresenta inúmeras vantagens comparativas em relação aos demais, dentre elas:

- a) Maior eficiência no uso de água – maior eficiência no uso da água e dos fertilizantes (VILLAS BOAS, et al., 2006), diminui as perdas por evaporação; não irriga o mato entre as fileiras de cultura; e permite maior eficiência de irrigação, a qual não é afetada por vento, tipo de solo e interferência do irrigante (BERNARDO et al., 2006);
- b) Maior produtividade – em geral, obtém-se maior produtividade com irrigação por gotejamento (GAVA et al., 2008), (VILLAS BOAS et al., 2012), (PINTO e FEITOSA

FILHO, 2009), principalmente para as culturas que respondem a maiores níveis de umidade no solo, pois a maior frequência de irrigação é inerente ao próprio método de irrigação localizada;

- c) Maior eficiência na adubação – a melhor eficiência na aplicação dos fertilizantes dissolvidos na própria água de irrigação, garantindo melhor desenvolvimento (DALRI e CRUZ, 2002; FARIAS et al., 2008), aplicação de vinhaça por gotejamento, (RIPOLI, 2006);
- d) Maior eficiência no controle fitossanitário – aplicação de defensivos agrícolas para controle de algumas pragas de solo (RIPOLI, 2006);
- e) Não interfere nas práticas culturais – a menor interferência com os tratos culturais, capinas podem ser realizadas, colheitas e aplicação de defensivos antes, durante e depois das irrigações (DALRI e CRUZ, 2002; FARIAS et al., 2008);
- f) Adaptação a diferentes tipos de solo e topografia – como a aplicação ocorre em pequena intensidade, este método se adapta melhor do que qualquer outro a diferentes tipos de solos e topografia (BERNARDO et al., 2006).
- g) Economia de mão-de-obra - grande economia de mão-de-obra quando comparados com os sistemas convencionais de irrigação por aspersão e por superfície (BERNARDO et al., 2006).

A irrigação localizada apresenta algumas limitações como: necessidade de cálculos precisos para quantificar concentrações e doses de fertilizantes, salinidade pelo uso excessivo de adubo (VILLAS BOAS, et al., 2006), exigência de pessoal treinado para manuseio dos adubos e injetores (PINTO e FEITOSA FILHO, 2009), manutenção com maior frequência devido ao entupimento dos bicos gotejadores, alto custo inicial (VILLAS BOAS, et al., 2012).

Amorim et al. (2007), em estudos de custos, conduzidos na Agroindústria Vale do São Francisco no Semi-Árido Nordeste, para diversos sistemas de irrigação em cana-de-açúcar, concluiu-se que o sistema por pivô central apresentou uma produtividade de $110,2 \text{ t ha}^{-1}$, com um alto consumo de energia elétrica. Em seguida, o sistema por gotejamento localizado produziu $101,5 \text{ t ha}^{-1}$, porém, mesmo com um custo de implantação mais elevado em relação aos demais, os principais atrativos foram sua alta

eficiência no aproveitamento de aplicação de água na cultura, em torno de 90% a 95%, alta produtividade agrícola e a baixa taxa de renovação do canavial.

Machado et al. (2002) em trabalhos nas propriedades das usinas São Martinho (SP), Capivara Agropecuária (SP), Coruripe (AL) e Iturama (MG) relacionados a viabilidade econômica da irrigação localizada por gotejamento na cultura da cana-de-açúcar demonstrou que a irrigação é viável e apresenta um maior retorno ao capital investido, mesmo que os investimentos sejam mais altos. Pela análise do Valor Presente Líquido (VPL), utilizando uma taxa de desconto de 11% para um projeto com vida útil de 12 anos, os resultados demonstraram que o investimento para a cana-de-açúcar de sequeiro apresentou retorno positivo no valor de US\$ 606,90 ha⁻¹ e para a cana-de-açúcar irrigada por gotejamento o retorno foi de US\$ 2.511,78 ha⁻¹. A Taxa Interna de Retorno (TIR) para a cana-de-açúcar irrigada por gotejamento é de 61,4% e para a cana-de-açúcar em sequeiro se estabilizou em 26,9%. O custo de produção médio por tonelada foi respectivamente de US\$ 7,76 e US\$ 9,27.

A irrigação por gotejamento localizado e 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⁻¹), 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, s.d.).

Como é uma tecnologia ainda nova no Brasil, o custo para implantação é o principal limitador. A expansão das áreas de plantio de cana-de-açúcar em zonas sujeitas a um maior déficit hídrico no solo ao longo do ano, o aumento nos custos de arrendamento de terra e de transporte, são suficientes para despertar novos olhares sobre esta tecnologia, pois ela possibilita o aumento de produção nas áreas já implantadas, sem a necessidade de aumento de expansão de área (BARÃO, 2008).

O sistema de irrigação localizada aumenta a quantidade de açúcar por hectare e amplia a vida da lavoura e é possível até 12 colheitas sem reforma do canavial, com produtividade que pode chegar a 120 t ha⁻¹. A área fertirrigada alcança, em média, um rendimento de 12 a 13 mil l ha⁻¹ de etanol, enquanto em áreas de sequeiro não passa dos 6,5 mil l ha⁻¹. Os custos para a implantação da tecnologia dependem da topografia e da fonte

de água. Em média, variam de R\$ 4.800,00 a R\$ 7.000,00 por hectare. O investimento é alto, mas dependendo das condições, é possível que em cada hectare irrigado em cinco cortes produza-se o dobro de cana ou mais na mesma área (BARÃO, 2008).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Fonte de dados

Avaliou-se neste estudo, num mesmo campo de experimento, mas em safras diferentes, a melhor dose econômica de nitrogênio para a 2ª e 3ª soqueiras da cultivar SP80-3280. Além da análise econômica, os experimentos foram instalados para uma série de estudos, dentre eles a verificação de como a adubação nitrogenada aplicada via fertirrigação por gotejamento promoveu incrementos na produtividade de colmos, na altura das plantas, no diâmetro dos colmos, no número de perfilhos por metro, no acúmulo de matéria seca de colmos, no acúmulo de nitrogênio pela planta, no fracionamento isotópico de carbono.

O estudo foi conduzido na Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento (UPD) de Jaú/SP, da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA) Pólo 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.

As parcelas constituíram-se de cinco sulcos de 30 metros de comprimento. Em todos os tratamentos foi utilizado o plantio em linha dupla (Figura 5), 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 $1,0 \text{ L h}^{-1}$ possuindo gotejadores a cada 0,5 m.

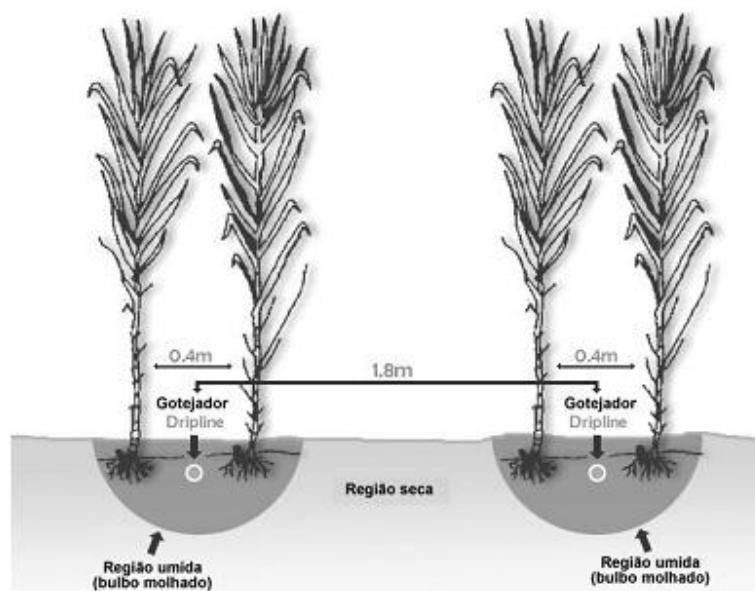


Figura 5. Detalhe do espaçamento utilizado entre as linhas de cana-de-açúcar.
Fonte: Gava et al. (2008).

5.1.1 Experimento 1 - 2ª soqueira – safra 2008/2009

No experimento 1, referente a 2ª soqueira, realizado na safra 2008/2009, o delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com três repetições para cada experimento, além de um tratamento controle sem N, sendo que a Tabela 4 representa a média aritmética das três repetições.

As doses de N foram aplicadas na forma de ureia em irrigação localizada por gotejamento ao longo do crescimento da cultura, e no tratamento não irrigado (sequeiro) 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.

Tabela 4. Produtividade média de colmos – 2ª soqueira – safra 2008/2009

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

5.1.2 Experimento 2 - 3ª soqueira – safra 2009/2010

No experimento 2, referente a 3ª soqueira, realizado na safra 2009/2010, o delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições para cada experimento, além de um tratamento controle sem N, sendo que a Tabela 5 representa a média aritmética das quatro repetições.

As doses de N foram aplicadas na forma de ureia, duas vezes por semana, em irrigação localizada por gotejamento. 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 1.435 mm e a lâmina total aplicada nos tratamentos irrigados foi de 390 mm.

Tabela 5. Produtividade média de colmos – 3ª soqueira – safra 2009/2010

Tratamentos	Descrição	t ha ⁻¹
T1	sem N + irrigação	59,2
T2	50 kg ha ⁻¹ N + irrigação	75,3
T3	100 kg ha ⁻¹ N + irrigação	90,7
T4	150 kg ha ⁻¹ N + irrigação	109,3
T5	200 kg ha ⁻¹ N + irrigação	106,0

5.2 Método

Para a análise econômica da adubação nitrogenada nos dois experimentos (2ª e 3ª soqueira) foram considerados os preços médios mensais pagos e recebidos pela agricultura paulista referente ao período de janeiro de 2008 a dezembro de 2012 (IEA, 2012). Todos os valores foram deflacionados pelo Índice Geral de Preços - IGP-DI da Fundação Getúlio Vargas, com base no mês de dezembro 2012 (APÊNDICE 1).

Através da análise de regressão, que é uma técnica de modelagem utilizada para analisar a relação entre uma variável dependente (Y) e uma ou mais variáveis independentes ($X_1, X_2, X_3, X_4, \dots, X_n$), é possível descrever uma função que represente o mais próximo possível, a relação entre essas variáveis e assim predizer o valor que a variável dependente (Y) irá assumir para um determinado valor da variável independente X . Nesse caso, foram utilizados Polinômios do 3º grau para representarem o efeito do nitrogênio sobre a produção de cana-de-açúcar, por apresentarem a vantagem de ter aplicação bem mais simples na manipulação matemática. Para a geração da função de produção foi utilizado o módulo específico para análise de regressões múltiplas do software Microsoft Excel 2010, por se tratar de uma ferramenta de fácil acesso, boa compreensão e utilização.

5.2.1 Métodos de avaliação da dosagem ótima econômica de nitrogênio

A Teoria da Produção visa proporcionar ao produtor e ao técnico responsável pela organização dos processos produtivos e gerenciais a base racional necessária para a tomada de decisões no campo da produção. O objetivo é destacar a eficiência no emprego de recursos de produção baseando-se em princípios de maximização de rendimentos, minimização de custos e os aspectos envolvidos na busca do equilíbrio entre eficiência técnica e eficiência econômica (ARBAGE, 2006).

A função de produção é uma relação que mostra a quantidade máxima de produto que pode ser obtido a partir de um determinado conjunto de insumos, para uma dada tecnologia disponível, por unidade de tempo (HOFFMANN et al., 1989).

Ao se exigir que a função de produção represente o máximo que se pode obter com o uso de cada combinação de insumos, está se construindo uma relação funcional entre os insumos e o produto. Esta definição permite escrever a função de produção como uma função matemática da forma:

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, X_4, \dots, X_n) \quad [1]$$

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).

Em experimentação agrícola, a análise pela teoria da produção inicia-se por manter um fator variável e os demais fixos. Simbolicamente têm-se $Y = f(X_1/ X_2, X_3, X_4, \dots, X_n)$ ou, mais simplesmente, $Y = f(X)$. Este procedimento de análise permite isolar e quantificar o efeito de uma variável sobre outra, algo impossível caso se inclua um maior número de variáveis intervenientes no fenômeno (ARBAGE, 2006).

No trabalho proposto, a quantidade de nitrogênio (X) aplicado é o único insumo como variável independente, medido em kg ha^{-1} , e a produção de cana-de-açúcar (Y) é o produto, medido do t ha^{-1} .

5.2.2 Relações físicas na produção

Para análise das condições de produção dos experimentos, faz-se necessária a compreensão de alguns conceitos adicionais. A partir desta equação, $Y = f(X)$, é possível determinar as relações físicas na produção. É importante ressaltar que não envolve variáveis monetárias, como preços.

- a) Produto Físico Total (PFT) – é a produção total medida em termos físicos, ou seja a produção de cana-de-açúcar em t ha^{-1} .

$$\text{PFT} = Y \quad [2]$$

- b) Produto Físico Médio (PFMe) – é a razão entre a quantidade produzida de cana-de-açúcar e a quantidade correspondente de nitrogênio usado. Utilizado para determinar quanto de produto em termos médios é gerado por cada unidade do fator variável.

$$\text{PFMe} = \frac{Y}{X} \text{ ou } \frac{\text{PFT}}{X} \quad [3]$$

- c) Produto Físico Marginal (PFMa) – mede o efeito sobre a produção provocado por uma variação unitária no uso do insumo, mantendo-se inalterados os níveis dos demais insumos. Portanto, se aumentar o fator X em Δx , o PFT aumenta em

Δy . O quociente $\frac{\Delta y}{\Delta x}$ mede o PFMa neste intervalo. É importante ressaltar que em economia o termo marginal é sinônimo de adicional.

$$PFMa_x = \frac{\Delta PFT}{\Delta X} \text{ (no arco)} \quad [4]$$

$$PFMa_x = \frac{dPFT}{dX} \text{ (no ponto)} \quad [5]$$

5.2.3 Relações monetárias na produção

Conforme Hoffmann et al. (1989), otimizar a produção significa que para uma dada tecnologia, existe um nível de produção, portanto de uso de insumos que maximiza o lucro do produtor.

Determinar o ponto de produção que maximiza o lucro é chamado de ótimo econômico. Para isso, necessita-se:

1. Preço do insumo (x) que será chamado de P_x .
2. Preço do produto (y) que será chamado de P_y .

A primeira relação monetária é chamada de Receita Total (RT), que é dada pela quantidade produzida em toneladas de cana-de-açúcar (Y) e o preço da tonelada de cana-de-açúcar vigente no mercado (P_y).

$$RT = Y \cdot P_y \quad [6]$$

Desta relação pode-se derivar outra relação monetária chamada de Produto Receita Média (PRMe), que pode ser interpretada como a receita média gerada por unidade de uso do insumo.

$$\frac{RT}{X} = \frac{Y \cdot P_y}{X} = PRMe \cdot P_y \quad [7]$$

Para determinar o ótimo econômico, deve-se determinar o Produto Receita Marginal (PRMa), que pode ser interpretado como a receita adicional que é gerada pelo uso adicional de insumo.

$$PRMa = \frac{\Delta RT}{\Delta X} \quad [8]$$

No limite, ou seja, fazendo Δx tender à zero, tem-se a derivada:

$$PRMa = \frac{d(RT)}{dX} = \frac{d(Y \cdot P_y)}{dX} = \frac{dY}{dX} \cdot P_y = PFMa \cdot P_y \quad [9]$$

Assim, tem-se $PRMa$ ou simplesmente Receita Marginal = $PFMa \cdot Py$. Essa relação é fundamental para determinar o ponto de produção onde o lucro é máximo.

Em experimentos de adubação, os níveis economicamente ótimos dos nutrientes são aqueles que conduzem ao lucro máximo. Para esses casos, a expressão de lucro máximo é dada por:

$$RL = RB - C \quad [10]$$

onde:

RL = receita líquida

$RB = Y \cdot Py$

$C = X \cdot Px$

Y = produção física de cana-de-açúcar em $t \text{ ha}^{-1}$

Py = preço da tonelada de cana-de-açúcar em $R\$ t^{-1}$

X = quantidade de nitrogênio em $kg \text{ ha}^{-1}$

Px = preço do quilo de nitrogênio em $R\$ kg^{-1}$

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A discussão do trabalho foi dividida em duas partes: teoria física e teoria econômica. Desta forma, discute-se inicialmente, os aspectos físicos da produção, ou seja, as respostas físicas da cana-de-açúcar a diferentes níveis de aplicação de nitrogênio. Posteriormente foram inseridas as relações monetárias, ou seja, os preços da tonelada de cana-de-açúcar e do nitrogênio e, portanto, uma análise para diferentes cenários de preços da cana-de-açúcar e do nitrogênio. Os experimentos serão analisados separadamente.

6.1 Relações físicas na produção – 2ª soqueira – safra 2008/2009

Avaliou-se nesse primeiro experimento, a 2ª soqueira de cana-de-açúcar da safra 2008/2009. Com base na média dos resultados de produtividade obtidos da cana-de-açúcar em função das doses de nitrogênio, o experimento apresentou resposta polinomial do 3º grau (Figura 6). Este ajuste permitiu as estimativas das doses de nitrogênio que corresponderam à produtividade máxima e a produtividade máxima econômica em função do custo de aquisição do quilo de nitrogênio e do valor de venda da tonelada de cana-de-açúcar. A função de produção obtida foi:

$$Y = -0,0000287x^3 + 0,008214x^2 - 0,2357x + 83,6 \quad [11]$$

onde:

Y = produção de cana-de-açúcar em t ha⁻¹.

X = doses de nitrogênio usadas na adubação. As doses usadas no experimento1 foram 70, 140 e 210 kg ha⁻¹ aplicadas via fertirrigação por gotejamento e o tratamento controle sem nitrogênio.

A função polinomial do 3º grau representa o processo de transformação do insumo nitrogênio em toneladas de cana-de-açúcar, de onde se pode obter a produtividade máxima de cana-de-açúcar, sem levar em consideração os valores econômicos envolvidos no processo.

Na Figura 6 verifica-se que a produtividade da cultura cresce com o aumento das doses de nitrogênio até um ponto de máximo, para então, apresentar tendência continua decrescente.

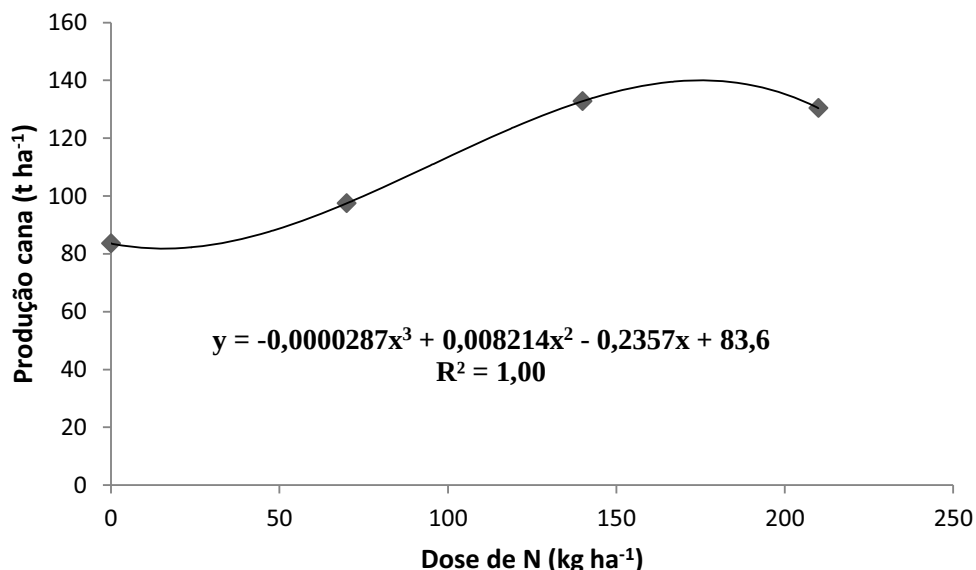


Figura 6. Curva de resposta do rendimento de cana-de-açúcar em função de doses crescentes de N aplicadas – safra 2008/2009.

A partir da equação $Y = -0,0000287x^3 + 0,008214x^2 - 0,2357x + 83,6$ determinam-se mais duas relações físicas de produção: a produtividade física média (PFMe) e a produtividade física marginal (PFMa).

6.1.1 Produtividade física média (PFMe)

O conceito de produtividade implica sempre uma relação entre duas variáveis. A Tabela 6 mostra a quantidade produzida de cana-de-açúcar ($t\ ha^{-1}$) e a quantidade correspondente de nitrogênio aplicado ($kg\ ha^{-1}$).

Tabela 6. Relações físicas entre N usado na adubação, a produtividade de cana-de-açúcar e a produtividade física média (PFMe) – safra 2008/2009.

Tratamentos	Nitrogênio	Produtividade	PFMe = $\frac{Y}{X}$ (t kg)
	kg ha^{-1} (X)	de cana-de-açúcar t ha^{-1} (Y)	
T1	0	83,6	0
T2	70	97,5	1,39
T3	140	132,8	0,95
T4	210	130,4	0,62

Pode-se obter a expressão algébrica da função do PFMe dividindo o PFT por X.

$$PFT(Y) = -0,0000287x^3 + 0,008214x^2 - 0,2357x + 83,6$$

$$PFMe = \frac{PFT}{X} = -0,0000287x^2 + 0,008214x - 0,2357 \quad [12]$$

Verifica-se na Tabela 6 que a produtividade física média do insumo decresce sempre. O valor diminui de 1,39 toneladas de cana-de-açúcar por kg de N, aplicando 70 kg deste nutriente por hectare, para 0,62 toneladas de cana-de-açúcar por kg de N, quando o nível de adubação atinge 210 kg de N por hectare. Nota-se, também, que se discute a produtividade média de um nutriente, mas ao mesmo tempo, mencionam-se níveis de produção por hectare, que é a ideia de produtividade média mais popular. Na realidade, todos

os demais fatores que entram na produção de cana-de-açúcar, exceto o nitrogênio, foram mantidos constantes no experimento.

6.1.2 Produtividade física marginal (PFMa)

O produto físico marginal (PFMa) do fator variável representa a mudança na produção (ΔY) associada à mudança incremental no uso do fator (ΔX).

Note-se que a partir dos dados da Tabela 7 não é possível calcular o valor do PFMa em um ponto, isto é, $\frac{dy}{dx}$, mas apenas o valor do PFMa para um intervalo, isto é, $\frac{\Delta y}{\Delta x}$. Quando ocorre aumento no emprego do fator variável de 0 para 70 kg de N, por exemplo, a produção cresce de 13,9 (de 83,6 para 97,5) toneladas de cana-de-açúcar e obtêm-se o PFMa para o intervalo considerado.

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{13,9}{70} = 0,20$$

Para o cálculo do ponto exato do PFMa, utiliza-se o conceito de derivadas. A função do PFMa é obtida derivando a função do PFT.

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

$$\begin{aligned} \text{PFT (Y)} &= -0,0000287x^3 + 0,008214x^2 - 0,2357x + 83,6 \\ \text{PFMa} &= \frac{dy}{dx} = -0,000086x^2 + 0,0164x - 0,2357 \end{aligned} \quad [13]$$

A equação apresenta duas raízes: $X_1 = 15,6$ e $X_2 = 175$. A primeira raiz não é aceitável como ponto ótimo de produção, pois está no 1º estágio (irracional) da função de produção, mas $X_2 = 175$ 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 para $X_2 = 175$ kg ha⁻¹ de N na equação do PFT ($Y = -0,0000287x^3 + 0,008214x^2 - 0,2357x + 83,6$), tem-se o valor máximo do PFT, que é 140 t ha⁻¹ cana-de-açúcar.

$$\begin{aligned} \text{PFT (Y)} &= -0,0000287.(175)^3 + 0,008214.(175)^2 - 0,2357.(175) + 83,6 \\ \text{PFTmax. (Y)} &= 140 \text{ t ha}^{-1} \end{aligned}$$

Tabela 7. Ponto de máximo da produtividade física – safra 2008/2009.

Tratamentos	Nitrogênio em kg ha ⁻¹ (X)	Produtividade de cana-de-açúcar t ha ⁻¹ (Y)	PFMe = $\frac{Y}{X}$ (t/kg)	PFMa = $\frac{\Delta y}{\Delta x}$ (t/kg)
T1	0	83,6	0	0
T2	70	97,5	1,39	0,20
T3	140	132,8	0,95	0,50
produtividade máxima	175	140,0	0,80	0,21
T4	210	130,4	0,62	-0,27

Pela verificação da equação, sem levar em consideração os preços da cana-de-açúcar e do nitrogênio, o ponto de máximo da produtividade é obtido com 140 t ha⁻¹, para uma dose de nitrogênio de 175 kg ha⁻¹. A partir desse ponto, qualquer uso adicional de nitrogênio não reflete em aumento de produção.

6.2 Cenários para as relações monetárias na produção – 2ª soqueira – safra 2008/2009

A seguir pode-se determinar o ponto que maximiza o lucro da produção e, portanto, de uso de insumos que maximiza o lucro do produtor para diversos cenários de preços da cana-de-açúcar e do nitrogênio.

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 (APÊNDICE 1), alguns cenários são descritos para mostrar como a influência dos preços impacta de forma direta no lucro do produtor (Tabela 8). Com base nos preços máximos, mínimos, médios e também o preço mais atual do insumo e do produto calculou-se as novas doses mais econômicas.

Tabela 8. Preços para a cana-de-açúcar e o nitrogênio – jan/2008 a dez/2012.

Descrição	Cenários			
	Pessimista	Médio	Otimista	Atual
Cana (R\$ t ⁻¹)	20,66	47,26	68,75	64,66
Nitrogênio (R\$ kg ⁻¹)	4,19	3,05	2,09	4,16

Fonte: IEA (2012)

6.2.1 Cenário pessimista para o preço da cana-de-açúcar

O cenário pessimista descreve para o período analisado, o menor preço recebido pelo produtor para a tonelada de cana-de-açúcar e o preço máximo pago pelo quilo do nitrogênio.

Considerando os preços deflacionados mínimos da tonelada de cana-de-açúcar, $P_y = \text{R\$ } 20,66 \text{ t}^{-1}$ e máximo do quilo de nitrogênio, $P_x = \text{R\$ } 4,19 \text{ kg}^{-1}$ referente ao período de janeiro/2008 a dezembro/2012 obtêm-se a derivada da função, a partir da expressão:

$$Y = -0,0000287x^3 + 0,008214x^2 - 0,2357x + 83,6$$

$$\frac{dy}{dx} = -0,000086x^2 + 0,0164x - 0,2357$$

$$\text{PFMa} = \frac{P_x}{P_y}$$

$$Y = -0,000086x^2 + 0,0164x - 0,2357 = \frac{4,19}{20,66}$$

$$Y = -0,000086x^2 + 0,0164x - 0,2357 - 0,2028$$

$$Y = -0,000086x^2 + 0,0164x - 0,4385 \quad [14]$$

Resolvendo a equação, têm-se duas raízes: $X_1 = 32,2$ e $X_2 = 158,5$. A primeira raiz não é aceitável como ponto de ótimo econômico, pois está no 1º estágio (irracional) da função de produção. A segunda raiz está no 2º estágio e é, portanto a solução. Substituindo $X_2 = 158,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de N na função de produção tem-se:

$$Y = -0,0000287.(158,5)^3 + 0,008214.(158,5)^2 - 0,2357.(158,5) + 83,6$$

$$Y = 138,3 \text{ t ha}^{-1} \text{ de cana-de-açúcar}$$

Para a relação de preços no cenário pessimista, a quantidade de cana-de-açúcar a ser produzida que atinge o ponto de ótimo econômico é de 138,3 t ha⁻¹.

6.2.2 Cenário médio para o preço da cana-de-açúcar

O cenário médio é representado pela média aritmética dos preços da tonelada de cana-de-açúcar e do quilo do nitrogênio para o período analisado.

Considerando os preços deflacionados médios da tonelada de cana-de-açúcar, $P_y = \text{R\$ } 47,26 \text{ t}^{-1}$ e do quilo de nitrogênio, $P_x = \text{R\$ } 3,05 \text{ kg}^{-1}$ referente ao período de janeiro/2008 a dezembro/2012 obtêm-se a derivada da função, a partir da expressão:

$$Y = -0,0000287x^3 + 0,008214x^2 - 0,2357x + 83,6$$

$$\frac{dy}{dx} = -0,000086x^2 + 0,0164x - 0,2357$$

$$\text{PFMa} = \frac{P_x}{P_y}$$

$$\frac{dy}{dx} = -0,000086x^2 + 0,0164x - 0,2357 = \frac{3,05}{47,26}$$

$$\frac{dy}{dx} = -0,000086x^2 + 0,0164x - 0,2357 - 0,0645$$

$$\frac{dy}{dx} = -0,000086x^2 + 0,0164x - 0,3002 \quad [15]$$

Resolvendo a equação, têm-se duas raízes: $X_1 = 20,4$ e $X_2 = 170,2$. A primeira raiz não é aceitável como ponto de ótimo econômico, pois está no 1º estágio (irracional) da função de produção. A segunda raiz está no 2º estágio e é, portanto a solução.

Substituindo o valor de $X_2 = 170,2 \text{ kg ha}^{-1}$ de N na função de produção tem-se:

$$Y = -0,0000287.(170,2)^3 + 0,008214.(170,2)^2 - 0,2357.(170,2) + 83,6$$

$$Y = 139,9 \text{ t ha}^{-1} \text{ de cana-de-açúcar}$$

Para a relação de preços no cenário médio, a quantidade de cana-de-açúcar a ser produzida que atinge o ponto de ótimo econômico é de 139,9 t ha⁻¹.

6.2.3 Cenário otimista para o preço da cana-de-açúcar

O cenário otimista retrata o maior preço recebido pelo produtor para a tonelada de cana-de-açúcar e o menor preço pago pelo quilo do nitrogênio.

A condição de ótimo para o cenário otimista, ou seja, considerando os preços deflacionados máximo da tonelada de cana-de-açúcar, $P_y = \text{R\$ } 68,75 \text{ t}^{-1}$ e mínimo do quilo de nitrogênio, $P_x = \text{R\$ } 2,09 \text{ kg}^{-1}$ referente ao período de janeiro/2008 a dezembro/2012 obtêm-se a derivada da função, a partir da expressão:

$$Y = -0,0000287x^3 + 0,008214x^2 - 0,2357x + 83,6$$

$$\frac{dy}{dx} = -0,000086x^2 + 0,0164x - 0,2357$$

$$\text{PFMa} = \frac{P_x}{P_y}$$

$$Y = -0,000086x^2 + 0,0164x - 0,2357 = \frac{2,09}{68,75}$$

$$Y = -0,000086x^2 + 0,0164x - 0,2357 - 0,0304$$

$$Y = -0,000086x^2 + 0,0164x - 0,2661 \quad [16]$$

Resolvendo a equação, têm-se duas raízes: $X_1 = 18$ e $X_2 = 172,7$. A primeira raiz não é aceitável como ponto de ótimo econômico, pois está no 1º estágio (irracional) da função de produção. A segunda raiz está no 2º estágio e é, portanto a solução.

Substituindo $X_2 = 172,7 \text{ kg ha}^{-1}$ de N na função de produção tem-se:

$$Y = -0,0000287.(172,7)^3 + 0,008214.(172,7)^2 - 0,2357.(172,7) + 83,6$$

$$Y = 140 \text{ t ha}^{-1} \text{ de cana-de-açúcar}$$

Para a relação de preços no cenário otimista, a quantidade de cana-de-açúcar a ser produzida que atinge o ponto de ótimo econômico é de 140 t ha^{-1} .

6.2.4 Cenário atual para o preço da cana-de-açúcar

Como o estudo foi realizado com base nos preços para o período de janeiro/2008 a dezembro/2012, considerou-se também o último preço atualizado pelo Instituto de Economia Agrícola para os preços pagos e recebidos pela agricultura paulista, com base março/2013. Para a tonelada de cana-de-açúcar o preço recebido foi de $P_y = \text{R\$ } 64,66 \text{ t}^{-1}$ e

para o quilo de nitrogênio o preço pago foi de $P_x = R\$ 4,16 \text{ kg}^{-1}$. Obtêm-se a derivada da função, a partir da expressão:

$$Y = -0,0000287x^3 + 0,008214x^2 - 0,2357x + 83,6$$

$$\frac{dy}{dx} = -0,000086x^2 + 0,0164x - 0,2357$$

$$PFMa = \frac{Px}{Py}$$

$$Y = -0,000086x^2 + 0,0164x - 0,2357 = \frac{4,16}{64,66}$$

$$Y = -0,000086x^2 + 0,0164x - 0,2357 - 0,06434$$

$$Y = -0,000086x^2 + 0,0164x - 0,300 \quad [17]$$

Resolvendo a equação, têm-se duas raízes: $X_1 = 20,5$ e $X_2 = 170,3$. A primeira raiz não é aceitável como ponto de ótimo econômico, pois está no 1º estágio (irracional) da função de produção. A segunda raiz está no 2º estágio e é, portanto a solução.

Substituindo $X_2 = 170,3 \text{ kg ha}^{-1}$ de N na função de produção tem-se:

$$Y = -0,0000287.(170,3)^3 + 0,008214.(170,3)^2 - 0,2357.(170,3) + 83,6$$

$$Y = 139,9 \text{ t ha}^{-1} \text{ de cana-de-açúcar}$$

Para a relação de preços no cenário atual, a quantidade de cana-de-açúcar a ser produzida que atinge o ponto de ótimo econômico é de $139,9 \text{ t ha}^{-1}$.

6.2.5 Análise dos cenários

Conforme os resultados apresentados na Tabela 9, observa-se que pela amplitude calculada para os preços da tonelada de cana-de-açúcar, existe uma grande diferença entre o maior e o menor preço praticado ($R\$ 48,09 \text{ t}^{-1}$), retratando que para o período analisado houve grandes oscilações nos preços recebidos pelo produtor.

O cálculo do desvio padrão mostra o mesmo resultado, indicando como os valores se comportaram em relação à média, ou seja, com um alto grau de dispersão. Isso pode ser explicado em partes pela forte crise vivida pelo setor canavieiro a partir de 2008, quando os preços deflacionados da tonelada de cana-de-açúcar não ultrapassaram a casa dos $R\$ 40,00 \text{ t}^{-1}$, além dos problemas climáticos enfrentados que refletiram diretamente na produtividade.

Tabela 9. Cenários em função dos preços do N e da cana-de-açúcar - safra 2008/2009

Descrição	Cenários				Medidas de Dispersão	
	Pessimista	Médio	Otimista	Atual	Amplitude	Desvio Padrão
Preço cana (R\$ t ⁻¹)	20,66	47,26	68,75	64,66	48,09	21,87
Preço N (R\$ kg ⁻¹)	4,19	3,05	2,09	4,16	2,10	1,01
Valor de X (kg ha ⁻¹)	158,5	170,2	172,7	170,2	14,20	6,38
Valor de Y (t ha ⁻¹)	138,3	139,9	140	139,9	1,70	0,82
Receita Total (R\$ ha ⁻¹)	2.857,28	6.611,67	9.625,00	9.045,93	6.767,72	3.075,96
Custo Total (R\$ ha ⁻¹)	664,12	519,11	360,94	708,03	347,09	157,07
Receita Líquida (R\$ ha ⁻¹)	2.193,16	6.092,56	9.264,06	8.337,90	7.070,89	3.147,99

É importante observar também que apesar de todos esses reveses, as produtividades para os cenários analisados se mostraram muito semelhantes, na faixa de 139,5 t ha⁻¹, o mesmo não retratado nos lucros, com resultados totalmente adversos. A diferença de preço da tonelada de cana-de-açúcar entre o cenário pessimista e médio, por exemplo, foi de R\$ 26,60 t⁻¹.

Conclui-se que, o produtor deve trabalhar para ter a máxima produtividade, mas os fatores externos impactam diretamente no seu negócio, influenciando os preços do produto e dos insumos utilizados.

Para os cenários apresentados, os impactos mais significantes estão relacionados à crise a partir de 2008, com a suspensão de investimentos do capital externo, endividamento das usinas, além dos problemas climáticos sofridos.

6.3 Relações físicas na produção – 3ª soqueira – safra 2009/2010

Nesse segundo experimento, avaliou-se a 3ª soqueira de cana-de-açúcar na safra 2009/2010. Com base na média dos resultados de produtividade obtidos da cana-de-açúcar em função das doses de nitrogênio, o experimento apresentou resposta polinomial do 3º grau (Figura 7). Este ajuste permitiu os cálculos das doses de nitrogênio que corresponderam à produtividade máxima e a produtividade máxima econômica em função do custo de aquisição

do quilo de nitrogênio e do valor de venda da tonelada de cana-de-açúcar. A função de produção obtida foi:

$$Y = -0,0000141x^3 + 0,003223x^2 + 0,1547x + 59,6 \quad [18]$$

onde:

Y = produção de cana-de-açúcar em t ha⁻¹

X = doses de nitrogênio usadas na adubação. As doses usadas no experimento 2 foram 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ aplicadas via fertirrigação por gotejamento e o tratamento controle sem nitrogênio.

A função polinomial do 3º grau representa o processo de transformação do insumo nitrogênio em toneladas de cana-de-açúcar, de onde se pode obter a produtividade máxima de cana-de-açúcar, sem levar em consideração os valores econômicos envolvidos no processo.

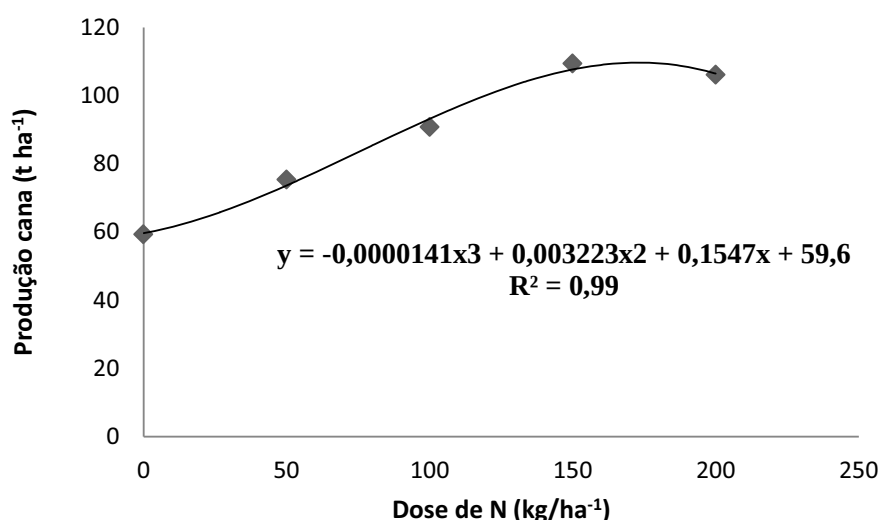


Figura 7. Curva de resposta do rendimento de cana-de-açúcar em função de doses crescentes de N aplicadas – safra 2009/2010.

A Figura 7 representa a variação no rendimento da cana-de-açúcar em função das doses de N aplicadas ao solo. Verifica-se que a produtividade da cultura cresce com o aumento das doses de N até um ponto de máximo, para então, apresentar tendência continua decrescente.

A partir da equação $Y = -0,0000141x^3 + 0,003223x^2 + 0,1547x + 59,6$ determinam-se mais duas relações físicas de produção: a produtividade física média (PFMe) e a produtividade física marginal (PFMa).

6.3.1 Produtividade física média (PFMe)

O conceito de produtividade implica sempre uma relação entre duas variáveis. A Tabela 10 mostra a quantidade produzida de cana-de-açúcar ($t\ ha^{-1}$) e a quantidade correspondente de nitrogênio usado ($kg\ ha^{-1}$).

Tabela 10. Relações físicas entre N usado na adubação, a produtividade de cana-de-açúcar e a produtividade física média (PFMe) – safra 2009/2010.

Tratamentos	Nitrogênio em $kg\ ha^{-1}$ (X)	Produtividade de cana-de-açúcar $t\ ha^{-1}$ (Y)	$PFMe = \frac{Y}{X}$ (t/kg)
T1	0	59,2	0
T2	50	75,3	1,51
T3	100	90,7	0,91
T4	150	109,3	0,73
T5	200	106,0	0,53

Pode-se obter a expressão algébrica da função do PFMe dividindo o PFT por X.

$$PFT(Y) = -0,0000141x^3 + 0,003223x^2 + 0,1547x + 58,9$$

$$PFMe = \frac{PFT}{X} = -0,0000141x^2 + 0,003223x + 0,1547 \quad [19]$$

Verifica-se na Tabela 10 que a produtividade física média do insumo decresce sempre. O valor diminui de 1,51 toneladas de cana-de-açúcar por kg de N, usando 50 kg deste nutriente por hectare, para 0,53 toneladas de cana-de-açúcar por kg de N, quando o nível de adubação atinge 200 kg de N por hectare.

6.3.2 Produtividade física marginal (PFMa)

O produto físico marginal (PFMa) do fator variável representa a mudança na produção (ΔY) associada à mudança incremental no uso do fator (ΔX).

Note-se que a partir dos dados da Tabela 11 não é possível calcular o valor do PFMa em um ponto, isto é, $\frac{dy}{dx}$, mas apenas o valor do PFMa para um intervalo, isto é, $\frac{\Delta y}{\Delta x}$. Quando ocorre aumento no emprego do fator variável de 0 para 50 kg de N, por exemplo, a produção cresce de 16,1 (de 59,2 para 75,3) toneladas de cana-de-açúcar e obtêm-se o PFMa para o intervalo considerado.

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{16,1}{50} = 0,32$$

Para o cálculo do ponto exato do PFMa, utiliza-se o conceito de derivadas. A função do PFMa é obtida derivando a função do PFT.

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

$$\text{PFT (Y)} = -0,0000141x^3 + 0,003223x^2 + 0,1547x + 59,6$$

$$\text{PFMa} = \frac{dy}{dx} = -0,000042x^2 + 0,006446x + 0,1547 \quad [20]$$

A equação apresenta duas raízes: $X_1 = -21,4$ e $X_2 = 174,9$. A primeira raiz não é aceitável como ponto ótimo de produção, pois está no 1º estágio (irracional) da função de produção, mas $X_2 = 174,9$ corresponde ao ponto de PFT máximo, satisfazendo a condição de 2ª ordem para máximo, que estabelece que a segunda derivada da função deve ser negativa.

Substituindo-se para $X_2 = 174,9$ kg ha⁻¹ de N na equação do PFT ($Y = -0,0000141x^3 + 0,003223x^2 + 0,1547x + 59,6$), tem-se o valor máximo do PFT, que é 109,8 t ha⁻¹ cana-de-açúcar.

$$\text{PFT (Y)} = -0,0000141.(174,9)^3 + 0,003223.(174,9)^2 + 0,1547.(174,9) + 59,6$$

$$\text{PFTmax. (Y)} = 109,8 \text{ t ha}^{-1}$$

Tabela 11. Ponto de máximo da produtividade física – safra 2009/2010.

Tratamentos	Nitrogênio em kg ha ⁻¹ (X)	Produtividade de cana-de-açúcar t ha ⁻¹ (Y)	PFMe = $\frac{Y}{X}$ (t kg)	PFMa = $\frac{\Delta y}{\Delta x}$ (t kg)
T1	0	59,2	0	0
T2	50	75,3	1,51	0,32
T3	100	90,7	0,91	0,31
T4	150	109,3	0,73	0,37
produtividade máxima	174,9	109,8	0,63	0,02
T5	200	106	0,53	-0,15

Pela verificação da equação (Tabela 11), sem levar em consideração os preços da cana-de-açúcar e do nitrogênio, o ponto de máximo da produtividade é obtido com 109,8 t ha⁻¹, para uma dose de nitrogênio 174,9 kg ha⁻¹. A partir desse ponto, qualquer uso adicional de nitrogênio não reflete em aumento de produção.

6.4 Cenários para as relações monetárias na produção – 3ª soqueira – safra 2009/2010

A seguir pode-se determinar o ponto que maximiza o lucro da produção e, portanto, de uso de insumos que maximiza o lucro do produtor para diversos cenários de preços da cana-de-açúcar e do nitrogênio.

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 (APÊNDICE 1), alguns cenários são descritos para mostrar como a influência dos preços impacta de forma direta no lucro do produtor. Com base nos preços máximos, mínimos, médios e também o preço mais atual do insumo e do produto calculou-se as novas doses mais econômicas.

6.4.1 Cenário pessimista para o preço da cana-de-açúcar

Para o cenário pessimista, considerando o preço deflacionado mínimo da tonelada de cana-de-açúcar, $P_y = \text{R\$ } 20,66 \text{ t}^{-1}$ e máximo do quilo de nitrogênio,

$P_x = \text{R\$ } 4,19 \text{ kg}^{-1}$ referente ao período de janeiro/2008 a dezembro/2012 obtêm-se a derivada da função, a partir da expressão:

$$Y = -0,0000141x^3 + 0,003223x^2 + 0,1547x + 59,6$$

$$\frac{dy}{dx} = -0,000042x^2 + 0,006446x + 0,1547$$

$$\text{PFMa} = \frac{P_x}{P_y}$$

$$Y = -0,000042x^2 + 0,006446x + 0,1547 = \frac{4,19}{20,66}$$

$$Y = -0,000042x^2 + 0,006446x + 0,1547 - 0,2028$$

$$Y = -0,000042x^2 + 0,006446x - 0,04810 \quad [21]$$

Resolvendo a equação, têm-se duas raízes: $X_1 = -7,5$ e $X_2 = 160,9$. A primeira raiz não é aceitável como ponto de ótimo econômico. A segunda raiz está no 2º estágio de produção e é, portanto a solução. Substituindo $X_2 = 160,9 \text{ kg ha}^{-1}$ de N na função de produção tem-se:

$$Y = -0,0000141.(160,9)^3 + 0,003223.(160,9)^2 + 0,1547.(160,9) + 59,6$$

$$Y = 109,2 \text{ t ha}^{-1} \text{ de cana-de-açúcar}$$

Para a relação de preços no cenário pessimista, a quantidade de cana-de-açúcar a ser produzida que atinge o ponto de ótimo econômico é de $109,2 \text{ t ha}^{-1}$.

6.4.2 Cenário médio para o preço da cana-de-açúcar

Considerando o preço deflacionado médio da tonelada de cana-de-açúcar, $P_y = \text{R\$ } 47,26 \text{ t}^{-1}$ e do quilo de nitrogênio, $P_x = \text{R\$ } 3,05 \text{ kg}^{-1}$ referente ao período de janeiro/2008 a dezembro/2012 obtêm-se a derivada da função, a partir da expressão:

$$Y = -0,0000141x^3 + 0,003223x^2 + 0,1547x + 59,6$$

$$\frac{dy}{dx} = -0,000042x^2 + 0,006446x + 0,1547$$

$$\text{PFMa} = \frac{P_x}{P_y}$$

$$\frac{dy}{dx} = -0,000042x^2 + 0,006446x + 0,1547 = \frac{3,05}{47,26}$$

$$\frac{dy}{dx} = -0,000042x^2 + 0,006446x + 0,1547 - 0,064537$$

$$\frac{dy}{dx} = -0,000042x^2 + 0,006446x + 0,090163 \quad [22]$$

Resolvendo a equação, tem-se o valor de $X = 166,7$. Substituindo o valor de $X = 166,7 \text{ kg ha}^{-1}$ de nitrogênio na função de produção tem-se:

$$Y = -0,0000141.(166,7)^3 + 0,003223.(166,7)^2 + 0,1547.(166,7) + 59,6$$

$$Y = 109,6 \text{ t ha}^{-1} \text{ de cana-de-açúcar}$$

Para a relação de preços no cenário médio, a quantidade de cana-de-açúcar a ser produzida que atinge o ponto de ótimo econômico é de $109,6 \text{ t ha}^{-1}$.

6.4.3 Cenário otimista para o preço da cana-de-açúcar

A condição de ótimo para o cenário otimista, ou seja, considerando o preço deflacionado máximo da tonelada de cana-de-açúcar, $P_y = \text{R\$ } 68,75 \text{ t}^{-1}$ e mínimo do quilo de nitrogênio, $P_x = \text{R\$ } 2,09 \text{ kg}^{-1}$ referente ao período de janeiro/2008 a dezembro/2012 obtêm-se a derivada da função, a partir da expressão:

$$Y = -0,0000141x^3 + 0,003223x^2 + 0,1547x + 59,6$$

$$\frac{dy}{dx} = -0,000042x^2 + 0,006446x + 0,1547$$

$$\text{PFMa} = \frac{P_x}{P_y}$$

$$Y = -0,000042x^2 + 0,006446x + 0,1547 = \frac{2,09}{68,75}$$

$$Y = -0,000042x^2 + 0,006446x + 0,1547 - 0,0304$$

$$Y = -0,000042x^2 + 0,006446x + 0,1243 \quad [23]$$

Resolvendo a equação, têm-se o valor de $X = 171,1$. Substituindo $X = 171,1 \text{ kg ha}^{-1}$ de N na função de produção tem-se:

$$Y = -0,0000141.(171,1)^3 + 0,003223.(171,1)^2 + 0,1547.(171,1) + 59,6$$

$$Y = 109,8 \text{ t ha}^{-1} \text{ de cana-de-açúcar}$$

Para a relação de preços no cenário otimista, a quantidade de cana-de-açúcar a ser produzida que atinge o ponto de ótimo econômico é de $109,8 \text{ t ha}^{-1}$.

6.4.4 Cenário atual para o preço da cana-de-açúcar

Como o estudo foi realizado com base nos preços para o período de janeiro/2008 a dezembro/2012, considerou-se também o último preço atualizado pelo Instituto de Economia Agrícola para os preços pagos e recebidos pela agricultura paulista, com base março/2013. Para a tonelada de cana-de-açúcar o preço foi de $P_y = R\$ 64,66 \text{ t}^{-1}$ e para o quilo de nitrogênio de $P_x = R\$ 4,16 \text{ kg}^{-1}$. Obtêm-se a derivada da função, a partir da expressão:

$$Y = -0,0000141x^3 + 0,003223x^2 + 0,1547x + 59,6$$

$$\frac{dy}{dx} = -0,000042x^2 + 0,006446x + 0,1547$$

$$PFMa = \frac{Px}{Py}$$

$$Y = -0,000042x^2 + 0,006446x + 0,1547 = \frac{4,16}{64,66}$$

$$Y = -0,000042x^2 + 0,006446x + 0,1547 - 0,064337$$

$$Y = -0,000042x^2 + 0,006446x + 0,090363 \quad [24]$$

Resolvendo a equação, têm-se o valor de $X = 166,8$. Substituindo $X = 166,8 \text{ kg ha}^{-1}$ de N na função de produção tem-se:

$$Y = -0,0000141.(166,8)^3 + 0,003223.(166,8)^2 + 0,1547.(166,8) + 59,6$$

$$Y = 109,6 \text{ t ha}^{-1} \text{ de cana-de-açúcar}$$

Para a relação de preços no cenário atual, a quantidade de cana-de-açúcar a ser produzida que atinge o ponto de ótimo econômico é de $109,6 \text{ t ha}^{-1}$.

6.4.5 Análise dos cenários

Conforme os resultados apresentados na Tabela 12, observa-se que pela amplitude calculada para os preços da tonelada de cana-de-açúcar, existe uma grande diferença entre o maior e o menor preço praticado ($R\$ 48,09 \text{ t}^{-1}$), retratando que para o período analisado houve grandes oscilações nos preços recebidos pelo produtor.

O cálculo do desvio padrão mostra o mesmo resultado. O desvio padrão indica como os valores se comportaram em relação à média, ou seja, qual foi o seu grau de dispersão. Quanto maior o desvio padrão, mais distante da média.

Isso pode ser explicado em partes pela forte crise do setor canavieiro ocorrido a partir de 2008, quando os preços deflacionados da tonelada de cana-de-açúcar não ultrapassaram a casa dos R\$ 40,00 t⁻¹, além dos problemas climáticos enfrentados que refletiram diretamente na produtividade.

Tabela 12. Cenários em função dos preços do N e da cana-de-açúcar - safra 2009/2010

Descrição	Cenários				Medidas de Dispersão	
	Pessimista	Médio	Otimista	Atual	Amplitude	Desvio Padrão
Preço cana (R\$ t ⁻¹)	20,66	47,26	68,75	64,66	48,09	21,87
Preço N (R\$ kg ⁻¹)	4,19	3,05	2,09	4,16	2,10	1,01
Valor de X (kg ha ⁻¹)	160,9	166,7	171,1	166,8	10,20	4,19
Valor de Y (t ha ⁻¹)	109,2	109,6	109,8	109,6	0,60	0,25
Receita Total (R\$ ha ⁻¹)	2.256,07	5.179,70	7.548,75	7.086,74	5.292,68	2.404,13
Custo Total (R\$ ha ⁻¹)	674,17	508,44	357,60	693,89	336,29	157,67
Receita Líquida (R\$ ha ⁻¹)	1.581,90	4.671,26	7.191,15	6.392,85	5.609,25	2.485,02

É interessante observar que apesar de todos esses reveses, as produtividades para os cenários analisados se mostraram muito semelhantes, na faixa de 109,0 t ha⁻¹, mas com resultados muito adversos no lucro líquido.

Para efeito comparativo com a dosagem ótima econômica em cana-de-açúcar de sequeiro, Vale et al. (2009) em experimento com a cultivar SP79-1011, observou que a dose com maior retorno econômico foi de 50 kg ha⁻¹ de N, relativamente baixa em virtude do baixo preço da tonelada de cana-de-açúcar (R\$ 29,69 t⁻¹) e aos elevados preços da tonelada de ureia (R\$ 1.719,47 t⁻¹).

Conclui-se que, o produtor deve trabalhar para ter a máxima produtividade, mas os fatores externos impactam diretamente no seu negócio, influenciando os preços do produto e dos insumos utilizados.

No caso dos cenários apresentados, os impactos mais significantes estão relacionados à crise a partir de 2008, com a suspensão de investimentos do capital externo, além dos problemas climáticos sofridos.

7. CONCLUSÕES

Pelos resultados apresentados nas condições em que se desenvolveram os experimentos e ao preço médio deflacionado pago pelo nitrogênio (R\$ 3,05 kg⁻¹) e recebido da tonelada de cana-de-açúcar (R\$ 47,26 t⁻¹), ressaltam-se algumas observações.

Para o experimento 1 realizado na safra 2008/2009, considerando-se os preços médios, a aplicação de 170,2 kg ha⁻¹ de N proporcionou o melhor resultado para a máxima eficiência econômica, com uma produtividade de 139,9 t ha⁻¹, que correspondeu à obtenção da receita líquida de R\$ 6.092,56 ha⁻¹. Comparado a produtividade máxima, as produtividades em toneladas de cana-de-açúcar foram praticamente iguais, mas no ótimo da produção econômica, quando se considera os preços pagos pelo kg do N e recebidos pela tonelada de cana-de-açúcar, utilizou-se uma dose menor de 4,8 kg ha⁻¹ de N. Em relação à testemunha, onde não se aplicou N, apenas irrigação, com produtividade de 83,6 t ha⁻¹ a diferença na produtividade foi de 56,3 t ha⁻¹ a mais. Esses valores corroboram com os trabalhos de Dalri e Cruz (2002), Gava et al. (2011) e Darlan et al. (2011).

Para o experimento 2 realizado na safra 2009/2010, a aplicação de 166,7 kg ha⁻¹ de N proporcionou o melhor resultado para a máxima eficiência econômica, obtendo uma produtividade de 109,6 t ha⁻¹, que correspondeu à obtenção da receita líquida de

R\$ 4.671,26 ha⁻¹. Comparado a produtividade máxima, as produtividades em toneladas de cana-de-açúcar foram praticamente iguais. A diferença está na menor dose utilizada (8,2 kg ha⁻¹) de N para a obtenção do ótimo da produção econômica. Em relação à testemunha, onde não se aplicou N, apenas irrigação, com produtividade de 59,2 t ha⁻¹ a diferença na produtividade foi de 50,4 t ha⁻¹ a mais.

Os dois experimentos, apesar de serem constituídos por tratamentos diferentes, apresentaram dentro de cada ciclo produtividades semelhantes para os diferentes cenários. Os resultados adversos ocorrem quando o fator preço, do insumo ou produto, é levado em consideração para os diferentes cenários, impactando diretamente na receita líquida.

Quando se considera os preços relativos do produto e do insumo é recomendada maior atenção à adubação, para que de maneira consciente essa prática agrícola seja economicamente viável.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGROBRASCONSULT. **Um gás para o agronegócio brasileiro**. nov. 2012. Disponível em: < <http://www.agrobrasconsult.com.br/?p=9&a=open:TableItem:showNewsletter:83:2:2> > Acesso em: 8 maio 2013.

AMORIM, F. A. M.; AMORIM, J. N.; BRITTO, W. S. F. Custos de irrigação na cana-de-açúcar: Um estudo realizado com os diversos sistemas de irrigação em Juazeiro-BA. **XIV Congresso Brasileiro de Custos**. João Pessoa-PB. dez. 2007.

ANDRADE JÚNIOR, A. S. et al. Níveis de irrigação e fertirrigação por gotejamento subsuperficial na produção de cana-de-açúcar. In: XXXVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2009, Juazeiro - BA / Petrolina - PE. **Anais**. Juazeiro - BA / Petrolina - PE: SBEA / UNIVASF, 2009. p. CD-ROM.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. **Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes 2011**, São Paulo, ANDA, 1987-2012. 178 p.

ARBAGE, A. P. **Fundamentos de economia rural**. Chapecó: Argos, 2006. 272 p.

BARÃO, C. **Fertirrigação por gotejamento e produtividade**. Disponível em: <http://www.agrofit.com.br/portal/index.php?view=article&catid=37%3Airrigacao&id=177%3Afertirrigacao-por-gotejamento-e-produtividade&option=com_content&Itemid=18>. Acesso em: 06 abr. 2013.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Manual de irrigação. Viçosa: Ed. UFV, 8ª ed. 2006.

BRASIL. Ministério da Fazenda. Secretaria de Acompanhamento Econômico – SEAE - **Panorama do mercado de fertilizantes**. Maio/2011, p. 8-33. Disponível em: <<http://www.seae.fazenda.gov.br/search?SearchableText=panorama>>. Acesso em: 14 nov. 2012.

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

CASARIN, V. **Importância dos macro e micronutrientes na nutrição mineral da cana-de-açúcar**. Revista Opiniões. Abr/Jun 2010. Disponível em: <<http://www.revistaopinioes.com.br/aa/materia.php?id=757>>. Acesso em: 15 nov. 2012.

CEPEA. **Agromensal Esalq/BM&F Bovespa**. Informações de mercado. CEPEA-Açúcar e Álcool. dez. 2008. Disponível em: <http://cepea.esalq.usp.br/agromensal/2008/12_dezembro/AcucarAlcool.htm> Acesso em: 3 jul 2013.

CEPEA. **Agromensal Esalq/BM&F Bovespa**. Informações de mercado. CEPEA-Açúcar e Álcool. dez. 2009. Disponível em: <http://cepea.esalq.usp.br/agromensal/2009/12_dezembro/AcucarAlcool.htm> Acesso em: 3 jul 2013.

COSTA, L. M.; SILVA, M. F. O. **A indústria química e o setor de fertilizantes**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro: BNDES, 2012. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Publicacoes/Consulta_Expressa/Tipo/BNDES_Setorial/201210_10.html>. Acesso em: 10 dez. 2012.

DALRI, A. B.; CRUZ, R. L. **Efeito da frequência de irrigação subsuperficial por gotejamento no desenvolvimento da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. Irriga, Botucatu, SP, v. 7, n.1, p. 29-34, 2002.

DALRI, A. B.; CRUZ, R. L. **Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial**. Engenharia Agrícola, v.28, p. 516-524. Jul./set. 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-69162008000300012&script=sci_arttext>. Acesso em: 06 abr. 2013.

DARLAN, L. B. et al. Crescimento de cana-de-açúcar (1ª soca) sob diferentes níveis de irrigação. **XL Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, Cuiabá – MT, 2011.

DIAS, V. P.; FERNANDES, E. **Fertilizantes: uma visão global sintética**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 24, p. 97-138: BNDES, 2006. Disponível em: <

http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Publicacoes/Consulta_Expressa/Setor/Complexo_Quimico/200609_9.html> Acesso em: 15 mar. 2013.

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

FACRE, W. R. **Três formas de fertilizantes nitrogenados e o futuro**. Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 120, dez. 2007 (Encarte).

FAO/IFA. **Los fertilizantes y su uso**, 3ª. ed. Roma: FAO, 2002. 77p.

FARIAS, C. H. A. et al. **Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.12, n.4, p. 356-362, 2008.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - FIESP. **OUTLOOK BRASIL 2022**: Projeções para o agronegócio. Instituto de Estudos do Comércio e Negociações Internacionais. São Paulo: FIESP/ICONE, 2012. 132p.

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. et al. **Recuperação do nitrogênio (15N) da ureia 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. et al. Produtividade e atributos tecnológicos de três cultivares de cana-de-açúcar irrigadas por gotejamento subsuperficial. In: **9º Congresso Nacional da STAB**, 9, 2008, Maceió, AL, STAB, 2008.

GAVA, G. J. C. et al. **Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Impresso), v. 15, p. 250-255, 2011.

HOFFMANN, R. et al. **Administração da empresa agrícola**. 6.ed. São Paulo: Pioneira, 1989. 325p.

INFORME SETORIAL. **Panorama atual e perspectivas de desenvolvimento do setor de fertilizantes no Brasil**. Informe Setorial, Janeiro 2010, nº 16. Rio de Janeiro, BNDES. 2010. Disponível em:

<http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/setorial/informe-16AI.pdf>. Acesso em: 01 abr 2011.

ISHERWOOD, K. F., **Mineral Fertilizer Use and the Environment**. International Fertilizer Industry Association. Revised Edition. Paris, February 2000.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Preços médios mensais pagos pela agricultura**. São Paulo, 2012. Disponível em: http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/Precos_Medios.aspx?cod_sis=5. Acesso em: 02 maio 2013.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Preços médios recebidos pela agricultura**. São Paulo, 2012. Disponível em: http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/precos_medios.aspx?cod_sis=2. Acesso em: 02 maio 2013.

KULAIF, Y. **Perfil dos fertilizantes N-P-K**. Brasília: Ministério de Minas e Energia (MME). Brasília, 2009. 64p.

LOPES, A. S.; BASTOS, A. R. R.; DAHER, E. Informações agronômicas. In: PROCHNOW, L. I.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Fertilizantes nitrogenados no Brasil: Um problema de escassez**. N. 120, dez.2007. Disponível em: <<http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/issue/IA-BRASIL-2007-120>>. Acesso em: 07 mar. 2013.

LOUREIRO, F. E. L, NASCIMENTO, M. Capítulo 2 – Importância e função dos fertilizantes numa agricultura sustentável e competitiva. In: LAPIDO-LOUREIRO, F. E. V.; MELAMED, R.; NETO, J. F. **Fertilizantes: agroindústria & sustentabilidade**. CETEM, Rio de Janeiro, 2008.

MACHADO, T.; NEVES, M. F.; BIALOSKORSKI NETO, S. Viabilidade econômica da irrigação localizada na cultura da cana-de-açúcar. **Anais do XI Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural – SOBER**, “Equidade e Eficiência na Agricultura Brasileira”, Universidade de Passo Fundo (UPF), Passo Fundo. RS, 28 a 31 de julho de 2002, p. 48.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M. F. **O nitrogênio na agricultura brasileira**. Série Estudos e Documentos SED-70. CETEM, Rio de Janeiro, 2006.

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

MATIOLI, C. S. **Irrigação suplementar de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) ciclo cana soca: um modelo de análise de decisão para o Estado de São Paulo**. 1998. 98p. Tese Doutorado em Agronomia – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

NASCIMENTO, D.; CHERUBIN, N. **Irrigação é sinônimo de cana hidratada e produtiva**. IdeaNews. Ano 11. N. 133, novembro/dezembro 2011. Disponível em: <www.revistaideanews.com.br>. Acesso em: 02 maio 2013.

NASTARI, P. M. **O que falta para retomar o crescimento do setor?** Revista Agroanalysis: Editora FGV, 10 ago. 2012.

NETAFIM (s.d.). **Cana-de-açúcar**. Disponível em: <<http://www.netafim.com.br/crop/sugar-cane-bio-energy>>. Acesso em: 06 maio 2013.

NOGUEIRA, A. C. L. **Agricultura: o mercado de fertilizantes no Brasil**. Informações Fipe, maio 2008.

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

PINTO, J. M.; FEITOSA FILHO, J. C. **Fertirrigação**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, Documentos 219, 2009. 49 p.

RAIJ, B. van. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1987. 142p.

RIPOLI, M. L. C. **Relatório dia de campo John Deere – Netafim**. Agosto, 2006. Disponível em:<<http://www.asplanpb.com.br/asplan/arquivos/Materiais/Netafim/RelatorioDiaCampoJDNetafim.pdf>>. Acesso em: 06 maio 2013.

ROSSETO, R. et al. 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.

SAAB, A.; PAULA, R. A. **O mercado de fertilizantes no Brasil: diagnóstico e proposta de políticas**. Ministério da Agricultura e Abastecimento (MAPA), 2008.

SANTOS, M. A. L. **Irrigação suplementar da cana-de-açúcar (Saccharum spp): Um modelo de análise de decisão para o estado de Alagoas**. Tese Doutorado em Agronomia – Irrigação e Drenagem, Piracicaba-SP. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2005, 100p.

SCARDUA, R.; ROSENFELD, U. Irrigação da cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. V.1, p. 373-431.

SERRA, G. E. et al. **Avaliação da energia investida na fase agrícola de algumas culturas.** Rio de Janeiro, STI/MIC, 1979. 86p.

SILVA, A. B. et al. **Rendimento e qualidade da cana-de-açúcar irrigada sob adubações de nitrogênio e potássio em cobertura.** Revista Caatinga. Mossoró, RN. V.22, n.3, p.236-241, julho/setembro 2009.

SOUSA, V. F. de; ELOI, W. M.; COELHO, E. F. **Fertirrigação:** aplicação e manejo de água e fertilizantes em cultivos irrigados. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2002. 68 p.

SOUSA, R. O. R. M. **Resumo das aulas disciplina irrigação e drenagem.** Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) – Instituto de Ciências Agrárias. Belém-PA, Março 2010. Disponível em: http://www.portal.ufra.edu.br/attachments/803_resumo_geral_irrigacao.pdf. Acesso em: 06 maio 2013.

TAVARES, M. F. F.; HABERLI JR, C. **O mercado de fertilizantes no Brasil e as influências mundiais.** Central de Cases. Escola Superior de Propaganda e Marketing – ESPM. Outubro 2011. Disponível em: <
<http://www.espm.br/Publicacoes/CentralDeCases/Documents/FERTILIZANTES.pdf> > Acesso em: 25 abril 2013.

THOURBURN, 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, v. 22, n. 3-4, p. 201-209, 2003.

TRIVELIN, P. C. O. **Utilização do nitrogênio pela cana-de-açúcar:** Três casos estudados com o uso do traçador ¹⁵N. Piracicaba, Universidade de São Paulo, 2000. 143p. (Tese de Livre-Docência).

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

ÚNIAO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Quatro fatores para entender a crise do etanol.** Disponível em: <http://www.unica.com.br/unica-na-midia/38837884920338415501/quatro-fatores-para-entender-a-crise-do-etanol/>. Acesso em: 27 abr. 2013.

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

VILLAS BOAS, R. L. et al. **Manejo da irrigação e fertirrigação:** perguntas e respostas. Boletim Técnico. Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais. Editora FEPAF. Botucatu, 2012.

VILLAS BOAS, R. L. et al. **Fertirrigação para iniciantes**. Pesquisa & Tecnologia, vol. 3, n.2, jul/dez 2006.

VITTI, A. C. et al. **Produtividade da cana-de-açúcar relacionada ao nitrogênio residual da adubação e do sistema radicular**. Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, v. 42, n. 2, p. 249-256, fev. 2007.

APÊNDICE 1

Tabela 1. Preços mensais pagos e recebidos pela agricultura paulista – jan/2008 a dez/2012.

Produto: Cana-de-Açúcar (R\$/ton)					Produto: Uréia (R\$/ton)					Nitrogênio
Mês	Ano	Preço	IGP	Preço Deflac.	Mês	Ano	Preço	IGP	Preço Deflac.	R\$/kg
Jan	2008	26,68	1,29162431	20,66	Jan	2008	1.417,60	1,2916243	1.097,53	2,44
Fev	2008	35,81	1,27896258	28,00	Fev	2008	1.412,36	1,2789626	1.104,30	2,45
Mar	2008	35,81	1,27412092	28,11	Mar	2008	1.384,04	1,2741209	1.086,27	2,41
Abr	2008	31,40	1,26526408	24,82	Abr	2008	1.409,14	1,2652641	1.113,71	2,47
Mai	2008	33,61	1,251250	26,86	Mai	2008	1.598,75	1,2512501	1.277,72	2,84
Jun	2008	36,34	1,22816065	29,59	Jun	2008	1.842,70	1,2281607	1.500,37	3,33
Jul	2008	39,76	1,20537899	32,99	Jul	2008	1.937,64	1,205379	1.607,49	3,57
Ago	2008	41,63	1,19202827	34,92	Ago	2008	2.004,56	1,1920283	1.681,64	3,74
Set	2008	43,45	1,19657526	36,31	Set	2008	2.057,92	1,1965753	1.719,84	3,82
Out	2008	42,46	1,19228304	35,61	Out	2008	2.130,00	1,192283	1.786,49	3,97
Nov	2008	39,68	1,17942728	33,64	Nov	2008	1.947,54	1,1794273	1.651,26	3,67
Dez	2008	38,53	1,17860226	32,69	Dez	2008	1.820,39	1,1786023	1.544,53	3,43
Jan	2009	33,89	1,18381103	28,63	Jan	2009	1.676,76	1,183811	1.416,41	3,15
Fev	2009	39,88	1,18369266	33,69	Fev	2009	1.464,58	1,1836927	1.237,30	2,75
Mar	2009	39,88	1,18523347	33,65	Mar	2009	1.466,54	1,1852335	1.237,34	2,75
Abr	2009	40,92	1,19527376	34,23	Abr	2009	1.407,31	1,1952738	1.177,40	2,62
Mai	2009	42,97	1,19479585	35,96	Mai	2009	1.267,28	1,1947958	1.060,67	2,36
Jun	2009	45,19	1,19264908	37,89	Jun	2009	1.241,22	1,1926491	1.040,73	2,31
Jul	2009	47,23	1,19647781	39,47	Jul	2009	1.155,91	1,1964778	966,09	2,15
Ago	2009	49,69	1,20418459	41,26	Ago	2009	1.194,91	1,2041846	992,30	2,21
Set	2009	49,02	1,2031018	40,74	Set	2009	1.179,61	1,2031018	980,47	2,18
Out	2009	47,25	1,20010154	39,37	Out	2009	1.159,69	1,2001015	966,33	2,15
Nov	2009	44,64	1,20058178	37,18	Nov	2009	1.132,22	1,2005818	943,06	2,10
Dez	2009	39,40	1,19974196	32,84	Dez	2009	1.127,83	1,199742	940,06	2,09
Jan	2010	36,39	1,20106313	30,30	Jan	2010	1.147,48	1,2010631	955,39	2,12
Fev	2010	35,57	1,18905368	29,91	Fev	2010	1.205,32	1,1890537	1.013,68	2,25
Mar	2010	46,38	1,17623275	39,43	Mar	2010	1.270,86	1,1762327	1.080,45	2,40
Abr	2010	48,46	1,16886887	41,46	Abr	2010	1.291,35	1,1688689	1.104,79	2,46
Mai	2010	51,34	1,16051318	44,24	Mai	2010	1.234,26	1,1605132	1.063,55	2,36
Jun	2010	54,82	1,14257475	47,98	Jun	2010	1.220,73	1,1425748	1.068,40	2,37
Jul	2010	58,59	1,13870316	51,45	Jul	2010	1.214,63	1,1387032	1.066,68	2,37
Ago	2010	62,14	1,13620352	54,69	Ago	2010	1.186,49	1,1362035	1.044,26	2,32
Set	2010	64,82	1,12384126	57,68	Set	2010	1.222,09	1,1238413	1.087,42	2,42
Out	2010	58,69	1,11161351	52,80	Out	2010	1.365,53	1,1116135	1.228,42	2,73
Nov	2010	53,24	1,10028062	48,39	Nov	2010	1.335,08	1,1002806	1.213,40	2,70
Dez	2010	48,49	1,08316659	44,77	Dez	2010	1.397,52	1,0831666	1.290,22	2,87
Jan	2011	57,59	1,07895865	53,38	Jan	2011	1.443,88	1,0789587	1.338,22	2,97
Fev	2011	57,59	1,06848747	53,90	Fev	2011	1.448,01	1,0684875	1.355,20	3,01
Mar	2011	57,59	1,05832753	54,42	Mar	2011	1.468,58	1,0583275	1.387,64	3,08

Abr	2011	65,02	1,05191087	61,81	Abr	2011	1.530,54	1,0519109	1.455,01	3,23
Mai	2011	62,90	1,04667749	60,09	Mai	2011	1.458,06	1,0466775	1.393,04	3,10
Jun	2011	64,44	1,04657283	61,57	Jun	2011	1.498,45	1,0465728	1.431,77	3,18
Jul	2011	67,57	1,04793515	64,48	Jul	2011	1.527,07	1,0479351	1.457,22	3,24
Ago	2011	67,47	1,04845937	64,35	Ago	2011	1.580,44	1,0484594	1.507,39	3,35
Set	2011	67,83	1,04210255	65,09	Set	2011	1.680,17	1,0421025	1.612,29	3,58
Out	2011	69,73	1,03434496	67,41	Out	2011	1.720,82	1,034345	1.663,68	3,70
Nov	2011	70,21	1,03022407	68,15	Nov	2011	1.726,55	1,0302241	1.675,90	3,72
Dez	2011	70,52	1,02581307	68,75	Dez	2011	1.725,27	1,0258131	1.681,86	3,74
Jan	2012	70,42	1,072529	65,66	Jan	2012	1.673,91	1,072529	1.560,71	3,47
Fev	2012	70,09	1,069321	65,55	Fev	2012	1.686,68	1,069321	1.577,34	3,51
Mar	2012	70,34	1,070071	65,73	Mar	2012	1.788,93	1,070071	1.671,79	3,72
Abr	2012	57,36	1,064112	53,90	Abr	2012	1.825,77	1,064112	1.715,77	3,81
Mai	2012	61,52	1,053367	58,40	Mai	2012	1.781,85	1,053367	1.691,58	3,76
Jun	2012	61,21	1,043868	58,64	Jun	2012	1.878,60	1,043868	1.799,65	4,00
Jul	2012	63,67	1,036715	61,42	Jul	2012	1.954,80	1,036715	1.885,57	4,19
Ago	2012	62,91	1,021193	61,60	Ago	2012	1.903,16	1,021193	1.863,66	4,14
Set	2012	64,64	1,008187	64,12	Set	2012	1.884,02	1,008187	1.868,72	4,15
Out	2012	65,24	0,999392	65,28	Out	2012	1.844,78	0,999392	1.845,90	4,10
Nov	2012	65,02	1,002500	64,86	Nov	2012	1.844,47	1,002500	1.839,87	4,09
Dez	2012	64,88	1,000000	64,88	Dez	2012	1.855,75	1,000000	1.855,75	4,12
Preço Médio				47,26	1.374,69				3,05	
Preço Máximo				68,75	1.885,57				4,19	
Preço Mínimo				20,66	940,06				2,09	

Fonte: IEA (2012)

Índice Geral de Preços - FGV - (Base Dezembro 2012 = 1,00)

Levantamento dos preços médios recebidos pelos produtores rurais

Os preços médios recebidos pelos agricultores referem-se aos valores obtidos na transação de venda de produtos para o primeiro comprador do sistema de comercialização. As cotações dizem respeito aos produtos embalados e livres dos custos de: comercialização, despesas de colheita, transporte, embalagens e impostos.

O levantamento é realizado para 55 produtos, sendo 28 de origem vegetal e 27 de origem animal, observando sua importância quanto à produção e comercialização no Estado de São Paulo, por meio de coleta de informações via telefone, fax, e-mail e questionário, junto aos informantes, provenientes de uma amostra intencional, composta por Casas de Agricultura, produtores, atacadistas, indústrias, cooperativas, sindicatos rurais e outros.

O produto cana-de-açúcar apresenta uma série histórica de valores repassados pela Orplana (Organização dos Plantadores de Cana-de-açúcar da Região Centro-Sul do Brasil) desde maio de 1999.

Levantamento dos preços médios pagos pela agricultura paulista

Os preços pagos são aqueles praticados nos pontos de venda, aos quais o agricultor se dirige para efetuar as compras necessárias para desenvolver sua atividade. São preços praticados na cidade de São Paulo de 165 produtos, agrupados em máquinas, veículos e implementos, peças

de reposição, fertilizantes e corretivos, frete, defensivos, vacinas e medicamentos, combustíveis e lubrificantes, embalagens, serviços comprados (energia elétrica), materiais de construção e reparo, animais de produção e trabalho, alimentos industriais para animais, alimentos "in natura" para animais e sementes. São realizadas mensalmente entrevistas diretas com cerca de 50 firmas especializadas, utilizando-se formulários específicos para obter as informações.

IGP-DI – está estruturado para captar o movimento geral de preços através de pesquisa realizada nas áreas de cobertura de cada componente, durante o mês calendário, isto é, do primeiro ao último dia do mês de referência. Nessa pesquisa, cobre-se todo o processo produtivo, desde preços de matérias-primas agrícolas e industriais, passando pelos preços de produtos intermediários até os de bens e serviços finais.

