

AVALIAÇÃO E PROJEÇÃO DO IMPACTO ECONÔMICO DO CONTROLE BIOLÓGICO DA CIGARRINHA DA RAIZ NA CANA-DE-AÇÚCAR (2000-2005)

Autoria: Thomaz Fronzaglia

RESUMO

Avalia-se o impacto econômico do controle biológico da cigarrinha da raiz (*Mahanarva fimbriolata*) na cana-de-açúcar com o fungo entomopatogênico *Metarhizium anisopliae*. Essa é uma alternativa tecnológica em relação ao controle com pesticidas químicos, e que tem assumido importância crescente com a intensificação da colheita mecânica da cana-de-açúcar crua no Estado de São Paulo. O impacto econômico da substituição de fatores é analisado por meio da relação benefício/custo, considerando as margens de contribuição da tecnologia. O impacto estimado é positivo em grande magnitude para diferentes cenários no setor canavieiro paulista.

1 - Introdução

O objetivo deste trabalho é avaliar o impacto econômico do controle biológico da cigarrinha da raiz (*Mahanarva fimbriolata*) na cana-de-açúcar com o fungo entomopatogênico *Metarhizium anisopliae*. Essa é uma alternativa tecnológica que tem assumido importância crescente com a intensificação da colheita mecânica da cana-de-açúcar crua, em substituição do controle com pesticidas químicos. Analisa-se o impacto econômico da substituição de fatores, por meio de custos e benefícios, valor presente e taxa interna de retorno.

A mudança de sistema de colheita da cana trouxe novos problemas, como é o caso da praga cigarrinha-da-raiz, para a qual demandou-se desenvolvimento tecnológico que proporcionou ganhos tanto econômicos quanto ambientais, cujos retornos são potencializados num setor de grande relevância econômica. No caso do setor sucroalcooleiro, que passa por uma revolução não apenas no seu sistema de produção, mas também no seu sistema logístico, de organização industrial e de estrutura de capital, e cuja demanda é crescente, o investimento em pesquisa e avaliação permanente desses programas diminuem as incertezas geradas no mercado, em função desse processo de inovação tecnológica e institucional.

A tecnologia em questão foi desenvolvida para a manutenção da oferta e redução de custos econômicos e ambientais. O setor sucroalcooleiro, o mercado de açúcar e álcool, a indústria de defensivos químicos e as biofábricas beneficiam-se deste tipo de avaliação de impacto econômico de produtos concorrentes no mercado de insumos para o controle da cigarrinha-da-raiz na cana-de-açúcar. Também, o direcionamento da alocação de recursos dentro de organizações de pesquisa, desenvolvimento e difusão de tecnologia podem tomar por base os resultados apresentados por essa tecnologia em avaliação.

2 – O problema da cigarrinha-da-raiz na cana

O setor sucroalcooleiro é sabidamente uma das principais atividades econômicas no Estado de São Paulo, ocupando a maior extensão de área agrícola, cuja importância é crescente em função do aumento da demanda do álcool no mundo, além do aumento constante da demanda de açúcar nos próximos anos. Estima-se uma ampliação em 100% da capacidade de produção até 2014, convertendo mais áreas à colheita mecanizada de cana crua situação que favorece a cigarrinha-da-raiz.

O sistema de produção de cana-de-açúcar sofre profunda mudança com a introdução da colheita mecanizada, desde 1972 (Veiga Filho, 1998), por e com maior intensidade com em função da Lei Estadual 10.547/00, em São Paulo, reformulada pela Lei 11.241/02, que por sua vez foi aperfeiçoada pelo Decreto 4.777, impõe uma série de procedimentos a serem seguidos, para diminuir a queima da cana. Em 2006, 30% das áreas mecanizáveis (com declividade

inferior a 12%) não podem ser queimadas. A lei paulista prevê proibição total das queimadas, mesmo em áreas não-mecanizáveis, em 2031.

Além das pressões de adequação ambiental, o aspecto econômico do custo da mão-de-obra do cortador de cana queimada e da sua produtividade que é de 9 toneladas por hectare queimado comparado a 3 t/ha em cana crua, leva à adoção dessa tecnologia.

Há mais de 1170 colheitadeiras de cana em operação no Estado de São Paulo. Cada uma colhe 80 mil t/ano, e estima-se que em 2005 foram colhidos 100 milhões de toneladas. A vendas de colheitadeiras saíram de 40 unidades em 2003 para 180 colheitadeiras encomendadas estimadas para 2006 pelo setor. No Estado de São Paulo, o índice de mecanização saltou de 25% para 35%, de 2000 para 2005.

A adaptação ao novo sistema de produção com o corte mecanizado da cana crua trouxe um novo problema: a infestação de cigarrinha-da-raiz da cana-de-açúcar, *Mahanarva fimbriolata*, que atinge 350 mil ha da cultura em São Paulo. Dinardo-Miranda *et al* (1999) estudaram as perdas causadas na produção e relatam de 30% a 55% de perda na produtividade causada pelos danos nos colmos, murchamento e morte.

O desenvolvimento tecnológico respondeu com o controle biológico da praga meio do fungo *Metarhizium anisopliae*, o qual, é produzido em diversas empresas, não é tóxico nem poluente e utiliza os mesmos meios convencionais de aplicação de inseticidas. Outras aplicações entomopatológicas desse fungo já eram praticadas desde 1872, e sua aplicação, no controle da cigarrinha-da-raiz, iniciou-se em 1910. No entanto, apenas a partir de 1976, a pesquisa e o desenvolvimento tiveram início no PLANALSUCAR, ESALQ/USP, CENARGEM/EMBRAPA e UNICAMP (Futino e Salles Filho, 1991).

Diversas empresas iniciaram a produção comercial do fungo a partir da década de 70, porém com insucesso comercial em função da variabilidade e perda de virulência do fungo. O desenvolvimento teve continuidade em um projeto temático de pesquisa, realizado pelo Instituto Biológico - APTA, com financiamento da FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, em parceria com ESALQ/USP e UFSCar – Araras.

A pesquisa em cana-de-açúcar gerou 191 resultados de pesquisa em temas de publicações no programa PROCANA das OEPAs do Estado de São Paulo (atualmente APTA), entre 1994 e 2002, entre os quais, o controle biológico responde, exclusivamente, por 4,2 % dos resultados independente de outros resultados em pragas e doenças que respondem pela maior fração da dos resultados (23%) (Landell, Figueiredo e Vasconcelos, 2003).

Entretanto, os resultados advindos do esforço da pesquisa e da difusão necessitam de uma avaliação da sua eficiência econômica para se entender a importância desses desenvolvimentos. Estratégias de controle integrado de pragas promoveram investimentos em controle biológico e biotecnologia como alternativas aos defensivos químicos. A emergência esporádica de novas pragas e doenças levaram ao estabelecimento de pesquisa voltada à manutenção da produtividade (Sunding e Zilberman, 2001), cujo impacto econômico da pesquisa e desenvolvimento do controle biológico têm sido pouco estudado, pois a ênfase se dá à avaliação de impacto dos ganhos de produtividade física das culturas e criações.

3 - O controle biológico da cigarrinha-da-raiz

A cigarrinha-da-raiz da cana (*Mahanarva fimbriolata*), como praga, é uma condição específica decorrente da mudança de sistema de produção (Veiga Filho, 1998), de colheita de cana queimada para colheita mecanizada da cana crua sem queimar, e atinge indistintamente canaviais de todo país. A cigarrinha está presente de forma endêmica em praticamente todos os canaviais da região Centro-Sul do Brasil, mas passou a manifestar-se de forma epidêmica porque tem encontrado na palha residual da colheita mecanizada da cana crua, um ambiente altamente favorável ao seu desenvolvimento. A consequência tem sido uma explosão na

população de cigarrinhas, a partir de uma seqüência de gerações que ocorre com o início das chuvas de primavera/verão.

O dano causado pela cigarrinha-da-raiz pode ter causas diretas na planta e indiretas no processo industrial. Os danos causados podem chegar a 40% de perda de produtividade no campo, pois cada inseto encontrado por metro de sulco causa uma redução de 0,7 t ATR/há (Dinardo-Miranda, 2003). Há também o problema da redução de rendimento industrial pela contaminação dos colmos causada pela ação da praga.

O nível de infestação da praga que causa um dano econômico igual ao custo de uma medida de controle é chamado de Nível de Dano Econômico (NDE), e varia conforme o sistema adotado, o qual implica no custo de pulverização e depende do preço do defensivo aplicado e do rendimento econômico do produto agrícola. O nível de infestação, na qual deve-se empregar a medida de controle da praga, é o Nível de Controle (NC), o qual está em função da eficiência e velocidade de ação do defensivo em relação ao aumento da intensidade do dano causado pela praga. Por exemplo, se uma medida de controle custasse 1t ATR/ha, ela deveria ser adotada de maneira que a infestação média de cigarrinha da raiz não ultrapassasse 1,5 insetos/metro de sulco. No entanto, o custo das medidas estão um pouco acima desse valor, de forma que o NDE está entre 4 insetos/metro para canaviais colhidos no final de safra e 12 insetos/metro para canaviais colhidos no início de safra.

Comparando-se o controle químico com o controle biológico, considerando-se a adoção completa do pacote tecnológico, espera-se que ambos mantenham a mesma produtividade da cana em toneladas por hectare. Entretanto, os custos e os sistemas de manejo são bem diferentes entre si, resultando em retornos econômicos também distintos. Pode-se obter uma relação benefício/custo para o controle químico da ordem de 1 a 3. Para o controle biológico, essa relação sobe para até 15, se o controle for bem sucedido.

Produção do fungo *Metarhizium anisopliae*

A seleção de isolados de fungos entomopatogênicos para o controle biológico de uma praga é uma das etapas mais importantes para a determinação da virulência, aspectos reprodutivos, e produção em meio de cultura artificial. A variabilidade genética desses microorganismos constitui-se no grande potencial no controle de pragas, além de não haver uma ligação direta do isolado com o hospedeiro e local com a virulência do mesmo. O isolado PL 43 de *M. anisopliae* utilizado no Nordeste do Brasil para o controle de *M. posticata* não se mostrou eficiente no controle de *M. fimbriolata* no Centro-sul, onde outros isolados como ICB10 e ESALQ1037 mostraram-se mais eficientes (Batista Filho, 2003). Portanto, o desenvolvimento de isolados mais eficientes foi uma grande contribuição da pesquisa no Instituto Biológico e outras organizações de pesquisa para o controle biológico da cigarrinha-da-raiz-da-cana.

Segundo Almeida (2003), a pesquisa e desenvolvimento do controle biológico da cigarrinha-da-raiz da cana são de grande importância para a economia do setor, já que o custo do controle é mais baixo do que o controle químico e através desse programa, novas empresas e laboratórios de usinas têm surgido para aumentar a oferta de bioinseticida no mercado e estimular o uso do fungo. Sem contar com o ganho para o meio ambiente, já que o bioinseticida a base do fungo não é tóxico para a flora e a fauna, bem como o homem.

Difusão

O Instituto Biológico da Apta desenvolvido um programa de treinamento e assessoria técnica para a construção de biofábricas de *M. anisopliae* junto à iniciativa privada, além de apoiar essas empresas quanto ao registro do produto e manutenção da qualidade do bioinseticida. O Centro de Tecnologia Canavieira tem difundido o controle biológico por meio da assistência técnica para o monitoramento e aplicação do fungo *M. anisopliae*, desde 1999 em diversas usinas.

Adoção

Os fatores que influenciam a adoção de práticas de MIP estão relacionados à tecnologia, ao produtor, ao ambiente físico, e ao ambiente institucional. O primeiro passo no estudo de adoção e impactos de MIP é descrever a proporção dos produtores que adotaram as práticas em questão e os efeitos causados pela adoção (Swinton e Day, 2000).

Fernandez-Cornejo *et al* (1998) *apud* Swinton e Day (2000) sumarizam 51 trabalhos empíricos de avaliação de impacto de práticas de MIP, os quais relatam menor uso de pesticidas, maior produção e lucro, porém os resultados não ocorrem universalmente. Fernandez-Cornejo e Costaldo (1998) *apud* Swinton e Day (2000) estimam, estatisticamente, a curva logística de adoção para uma variedade de práticas de MIP e demonstram que o estoque de pesquisa é o fator mais importante na adoção do monitoramento de pragas e que a pesquisa pública era o único fator determinante na redução do uso de pesticidas químicos.

Dentre os entraves para adoção, Sano *et al* (2002) estudaram a compatibilidade de oito herbicidas com o fungo *M. anisopliae* na cana-de-açúcar, e encontraram apenas três herbicidas compatíveis, a saber: Combine (hexazinone), Provence (Isoxaflutole) e Nortox (Trifluralina).

4 - Metodologia de avaliação de impactos

Segundo Georghiou e Roessner (2000), a avaliação interna de políticas públicas e a visão de competitividade como função de CT&I convergiram na avaliação de programas tecnológicos. Entretanto, ainda há escassez de trabalhos de avaliação de impacto em função da dificuldade em se obter dados e resultados relevantes. Há diversos tipos de avaliação de programas tecnológicos.

A avaliação de Impacto Econômico utiliza funções de produção, análise de investimentos, excedente do consumidor e do produtor. Este método ignora o valor da contribuição de conhecimentos técnicos alocados dentro do processo de inovação, e as externalidades provocadas pela nova tecnologia, e não caracteriza adequadamente a relação entre o desempenho de organizações de pesquisa com a sua contribuição social e a relação entre pesquisa básica e pesquisa aplicada. Diversas limitações são colocadas como a escolhas de quais dados utilizar, o escopo de impacto, a extensão dos objetivos do programa em questão. Esse método é mais bem utilizado em mudanças tecnológicas incrementais do que em mudanças radicais do sistema produtivo.

A Taxa de Retorno Social busca estimar o benefício social advindo da mudança tecnológica e relacionar seu valor com os investimentos na pesquisa que provocou as mudanças de interesse. Utiliza-se o excedente do consumidor e do produtor para se calcular o benefício social (Griliches, 1958; Ayer e Schuh, 1972), o qual, geralmente, é maior que o custo do investimento público e privado. A relação causal entre a pesquisa e o benefício social, está implícita, mas não é direta. O cálculo do excedente do consumidor e do produtor depende da existência das curvas de oferta e demanda, o que não é o caso de produtos não substitutos de um antecedente direto. São estudos difíceis de generalizar e que podem se tornar custosos dependendo da profundidade, abrangência temporal e precisão da análise. Impactos de pesquisas básicas são difíceis de capturar.

O Resultado Indireto baseia-se em ciencimetry, bibliometria, patentes, licenças, inventos, valor de *royalties* e vendas. Neste método, além das considerações dos desvios em relação ao sistema meritocrático de citações, publicações, e das interferências de condições institucionais para a apropriação tecnológica, os impactos econômicos diretos na produção são difíceis de identificar.

O Caminho Histórico traça um histórico do contexto institucional, contribuições específicas de conhecimentos de pesquisas básicas e aplicadas, fluxos de conhecimentos, fontes de

financiamento, redes de colaboração. Apesar de serem avaliações extremamente custosas, sem generalização, trazem as ligações entre produtos e conhecimentos utilizados, implicações institucionais em programas tecnológicos, com uma maior precisão na avaliação de retorno social da pesquisa por identificar com clareza as relações causais entre custos e benefícios. Dessa forma, passa a minimizar o problema da atribuição, principalmente, quando o escopo e abrangência espacial, temporal e de objetivos de um programa são definidos em diferentes cenários sob diversos referenciais e usuários da avaliação. Esta abordagem tem se utilizado também das interações entre agentes do sistema de inovação, com a estrutura de análise de governança em redes, e da nova economia da ciência (Dasgupta e David, 1994).

Há diferentes tipos de trabalhos de avaliação de impacto em Manejo Integrado de Pragas (MIP) citados por Swinton e Day (2000). Estes autores concluem que a análise econômica do MIP ainda requer um desenvolvimento mais aprofundado da avaliação de impacto econômico do controle biológico. Para tanto, coloca a necessidade de se ter a modelagem da interação praga-predador/parasitóide; a estimação das variações dos danos no valor das culturas; a comparação entre o controle biológico com seu correspondente método de controle não-biológico; avaliar os efeitos em lucratividade; saúde humana; qualidade do meio ambiente; e resistência das pragas. Além das medidas de tal impacto, Swinton e Day (2000) enfatizam a necessidade de se medir os retornos da pesquisa que contribuem para a avaliação de políticas de fomento ao MIP.

O caso do controle biológico da cochonilha da mandioca na África: Zeddies, Schaab, Neuenschwander, Herren (2001) complementam a avaliação de 15 anos passados e análise projetiva de 15 anos elaborado por Nogaard (1988) sobre o impacto do controle biológico da cochonilha da mandioca nos países da África, com a adição de cenários alternativos e análise de sensibilidade com diferentes variáveis: eficácia da tecnologia, substituição de importação de milho dos programas de ajuda humanitária, preço, frete, número de anos, taxa de juros. A repetição do estudo com uma base de dados mais realista do período permitiu encontrar uma relação benefício/custo, no cenário mais pessimista, em torno de 111, em comparação com 149 do estudo anterior.

No Brasil, diversos estudos sobre a relevância, impacto e retorno social da pesquisa agropecuária no setor sucroalcooleiro são encontrados na literatura como: o de Gazzoni (1980) sobre o controle biológico para trigo, soja e cana-de-açúcar mostra grandes ganhos econômicos; o de Pinazza, Gemente e Matsuoka (1984) encontram que a introdução da variedade de cana NA 56-79 houve uma taxa interna de retorno da pesquisa de 35,14% e relação benefício/custo de 1,65, no Estado de São Paulo; o de Fernandes e Tatizana (1991) que estudaram o retorno econômico do Programa de Melhoramento da Cana-de-Açúcar da Copersucar de 86/87 a 90/91, encontrando elevação na margem de contribuição de US\$ 130 milhões em relação às demais variedades colhidas no período; o de Arrigoni e Rodrigues Filho (1991) que realizaram análise de sensibilidade da importância econômica para os limites de infestação, eficiência e rendimento da operação de controle para quatro métodos de controle diferentes das formigas cortadeiras na cana-de-açúcar; o de Almeida, Arrigoni e Precetti (1991) que analisaram o retorno econômico do controle biológico da broca da cana-de-açúcar, entre 1980-90, em 14 usinas, considerando a intensidade de infestação, liberação e produção de agente de controle biológico, nível de parasitismo, produção ponderada média anual por usina, nível de dano (t/ha, açúcar, álcool), rendimento industrial, destinação da cana, perdas, preço, custo fixo, custo do capital, custo variável médio, investimentos, por nível de infestação. A análise utilizou um modelo de uma biofábrica (insetário) com a produção média anual equivalente à das 14 usinas, para analisar a viabilidade econômica da atividade. O trabalho conclui qual o agente de controle biológico mais eficiente, ponto de equilíbrio da relação custo/benefício (0,8%) na redução da intensidade de infestação, o valor presente líquido e valor anual equivalente.

5 – Método

Para se avaliar o impacto econômico do controle biológico da cigarrinha-da-raiz na produção da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, no período de 2000 a 2005 e projetá-lo até 2010, parte-se da premissa de que a inovação em questão é voltada para a manutenção da quantidade produzida do produto, com um mesmo rendimento por hectare. A mudança que ocorre é na estrutura de custos, com a substituição do controle químico pelo controle biológico, fator este de menor custo por unidade produzida.

Este trabalho considera a substituição de fatores para a minimização de custo sujeito a uma produção dada. Isto, segundo Ferguson (1976), implica em caminhar dentro de uma isoquanta, passando por diferentes curvas de isocustos. Assim, no caso dos insumos alternativos do controle químico e biológico, diferentes combinações podem ser aplicadas para um mesmo nível de produto, com diferentes custos. A partir do momento em que o preço relativo dos controles (químico e biológico) se iguala à taxa marginal de substituição técnica, há uma decisão de adoção com o objetivo de diminuir os custos.

Considera-se também o fornecimento de cana crua dentro de um sistema verticalmente integrado ou sistema híbrido (contrato), nos quais, o preço equivale ao custo marginal e médio. Assim, a tecnologia à disposição reduz o custo unitário para os primeiros a adotarem, uma vez que, os produtores que adotaram a tecnologia auferiram o benefício com a substituição de fatores. Portanto, muda-se a curva de custo marginal de curto prazo, para cada ano, para a direita, e, *ceteris paribus*, a curva de oferta no curto prazo se mantém na mesma posição. Considera-se, também, que a curva de oferta do insumo variável é inclinada positivamente. A partir do início de adoção do novo insumo, a curva de oferta do insumo passa a se deslocar para a direita à medida que novos produtores do insumo entram no mercado, e passam a concorrer e produzi-lo com menor custo. Portanto, há expansão da oferta do insumo com preços decrescentes.

O trabalho busca analisar a diferença de custo marginal trazida pelo método biológico para o controle da cigarrinha-da-raiz em relação ao controle químico. Dessa forma, identifica-se o benefício da alternativa tecnológica, no horizonte de 2000 a 2005, com uma projeção da taxa de adoção até 2010.

Essa avaliação está baseada em três critérios (Hirschfeld, 1989; Silva e Almeida, 1996) usados para Avaliação de Projetos *ex ante* e *ex post*: Valor Presente (V_0), Taxa Interna de Retorno ($TIR = \rho$) e Custo-Benefício (B/C), critérios comumente usados em avaliação de projetos, úteis para a decisão de alocação de recursos em pesquisa agropecuária. Tais critérios prescindem de fluxos de custos e benefícios para determinado o horizonte de tempo (T).

$$V_0 = \sum_{t=1}^T \frac{B_t - C_t}{(1-r)^t} \quad (1)$$

$$V_0 = \sum_{t=1}^T \frac{B_t - C_t}{(1-\rho^t)} \quad (2)$$

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{t=1}^T \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1+r)^t}} \quad (3)$$

V_0 = Valor presente;

ρ = Taxa Interna de Retorno (TIR);

B/C = Relação benefício/custo;

T = Horizonte do projeto (anos);

B_t = Benefício no ano t ;

C_t = Custo no ano t .

r = Taxa de desconto: serão utilizados valores máximo e mínimo (Exemplo: Taxa Geral de Juro Bancária e Celic, respectivamente).

Os custos são considerados aqueles efetivados em cada ano t para a adoção e uso de cada tecnologia, o que inclui o custo do defensivo químico, o monitoramento da praga, e a aplicação do defensivo. Os benefícios serão medidos em termos do diferencial de custo entre as tecnologias acumulado no período. Espera-se que a diminuição no preço do fator diminui o custo médio e custo marginal no longo prazo. Portanto, serão levados em consideração os benefícios em decorrência da redução de custo pela adoção da tecnologia. Para aplicação do método de avaliação do impacto da tecnologia se faz necessário as seguintes variáveis: Área de colheita mecânica; Taxa de adoção do controle biológico; Índice de infestação; Volume de aplicação dos métodos de controle químico/biológico; Custos das práticas de controle biológico e químico (monitoramento, defensivo, aplicação); Curva de dano e Níveis de Controle.

Estima-se o diferencial de custo do controle da cigarrinha da raiz da cana-de-açúcar em função da inovação em questão:

$$CT_t = \sum_{t=1}^T [C_{bt} f(A_{b_{it}}, c_b, I_b, e_b) + C_{qt} f(A_{q_{it}}, c_q, I_q, e_q)]$$

CT_t = Custo total anual do controle da cigarrinha, no ano t ;

C_t = Custo do controle biológico/químico, no ano t ;

A_{it} = Área infestada, no ano t , adotando o controle biológico/químico;

c = custo de aplicação por hectare do controle biológico/químico;

I = infestação média da área de controle biológico/químico;

e = eficiência do controle biológico/químico: corresponde à variação da infestação decorrente da aplicação de determinado método de controle sob condições ambientais locais, $\Delta I = I_0 - I_f$, cujos dados são inerentes às estimativas experimentais de eficiência e dados de campo da eficiência da aplicação em determinado ano em função de variáveis do ambiente.

Se o controle químico fosse adotado em Área Total (AT), o seu custo total seria:

$$CT_{qt} = \sum_{t=1}^T AT_t c_q e_q$$

AT_t = área total infestada, para o ano $t = A_{b_{it}} + A_{q_{it}}$

Tem-se o benefício para cada ano t subtraindo-se o custo referente à área de controle biológico: $B_t = CT_{qt} - C_{bt}$ (B_t = benefício, no ano t).

$$B_t = \left[\underbrace{CT_{qt} f \left(\sum_{t=1}^T AT_t c_q I_q e_q \right)}_{\text{Controle químico em Área Total}} \right] - \left[\underbrace{\sum_{t=1}^T C_{bt} f \left(\sum_{t=1}^T A_{b_{it}} c_b I_b e_b \right)}_{\text{Controle biológico no período}} \right]$$

Os custos da aplicação da tecnologia são definidos em razão dos custos do controle biológico:

$$C_t = \sum_{t=1}^T C_{b_t} f \left(\sum_{t=1}^T A_{b_t} c_b I_b e_b \right)$$

São criados cenários alternativos em relação às diversas variáveis para evitar subavaliar ou superavaliar os resultados. Os resultados são discutidos levando-se em conta a limitação dos dados, diferentes cenários, possibilitando concluir a respeito da eficiência do controle biológico, magnitude da sua contribuição em comparação com os outros tipos de controle.

5.1 Coleta e tratamento de dados

O Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), forneceu dados de acompanhamento do controle biológico da cigarrinha-da-raiz da cana das safras 1999/2000 a 2004/2005, sendo que na última os dados englobam 13 usinas associadas. Esses dados representam uma amostra intencional da qual se faz uma extrapolação para a área total de cana de colheita mecanizada do Estado de São Paulo.

Realizaram-se entrevistas com pesquisadores envolvidos no desenvolvimento da tecnologia no Instituto Biológico da Apta – Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios e de pesquisadores que trabalham com avaliação de métodos de controle da cigarrinha do Centro Apta de Cana, por meio dos quais obtiveram-se dados qualitativos a respeito da dinâmica populacional da praga, eficiência de métodos de controle, curvas de dano, cadastros de biofábricas e referências de ensaios experimentais.

Dados dos preços de defensivos foram obtidos no boletim da AENDA e os preços do fungo foram obtidos junto a uma biofábrica. Os preços de serviços de pulverização dos produtos foram obtidos junto às firmas que operam o serviço de aplicação (aérea e terrestre).

A consistência da base de dados brutos foi analisada via rotinas de programação em Delphi, por meio da qual, obtiveram-se diversas medidas de inconsistências que decorrem de variações de entrada de dados, problema mais importante para as últimas safras, em que o volume de dados aumenta exponencialmente. Buscou-se fazer um tratamento lógico que envolveu a eliminação e correção de *outliers*, dimensionamento de variações e anomalias dos registros, criando-se intervalos de resultados possíveis para totalizações.

Com base em revisão de literatura, obtiveram-se dados alternativos em relação à curva de dano da praga para fins de avaliação econômica do controle, com base nos estudos realizados pelo Centro Apta de Cana (Dinardo-Miranda, 2003).

ÁREA

A Área de Controle Biológico é o valor da soma dos talhões nos quais se faz controle biológico, multiplicado por três, uma vez que a amostragem dos levantamentos de infestação é realizada em mosaico na proporção de 1:3. Os dados brutos do CTC estão organizados em levantamentos periódicos de infestação no campo, que se repetem nas mesmas áreas monitoradas em determinada safra. Portanto, deve-se fazer a distinção entre Área Amostrada: área acumulada de levantamentos durante a safra; e, Área Monitorada: área na qual efetivamente se fez levantamentos na safra, a qual obtém-se somando os diferentes talhões onde foram feitos levantamentos, eliminando as repetições.

INFESTAÇÃO

A variável Infestação considera a maior infestação ocorrida no talhão durante a safra, a qual é utilizada para agrupar subtotaís de áreas de talhões dentro de classes de infestação. Não

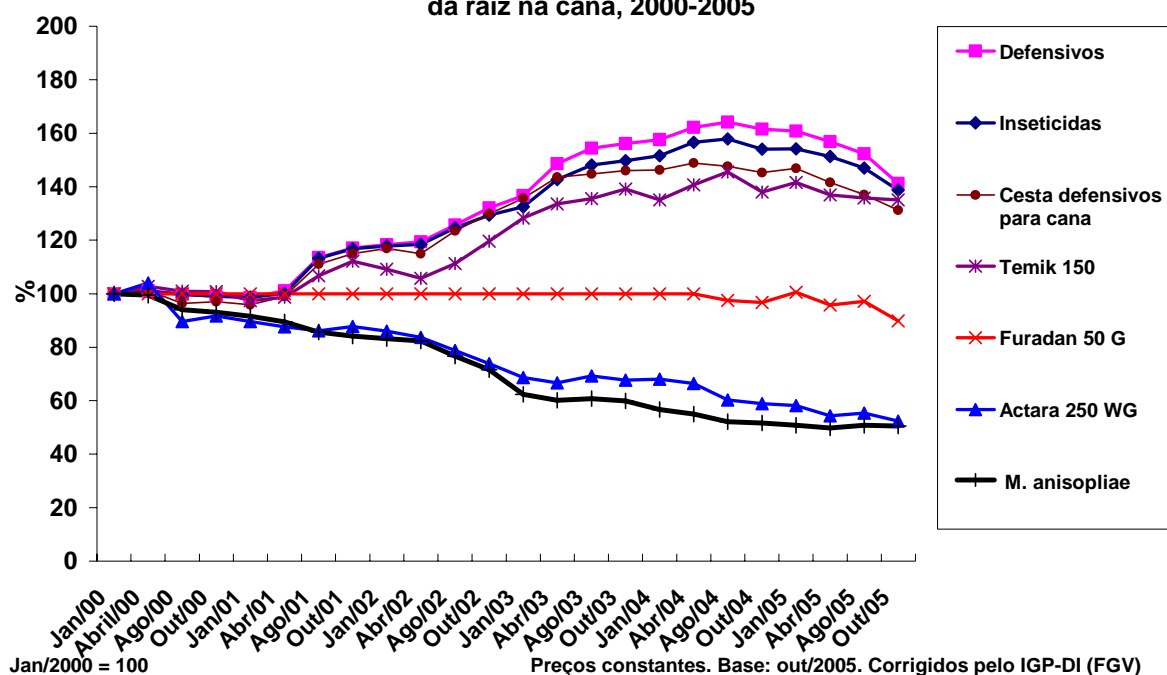
obstante, para se identificar eficiência do controle ao longo do tempo em determinados talhões, buscou-se identificar a permanência dos talhões nos levantamentos entre safras. Neste caso, utilizou-se consulta no banco de dados, fazendo-se a comparação dos talhões de cada safra, porém nos casos em que se encontrou alguma regularidade, há levantamentos bienais numa mesma área, mas não é o padrão para a maioria dos talhões, mesmo porque o número de talhões aumenta exponencialmente entre as safras, de forma que se encontraria pouca correspondência, mesmo que houvesse persistência de levantamentos nos mesmos talhões entre todas as safras. *A priori*, utilizou-se como resultado, os dados agregados já classificados por faixa de infestação calculados pelo CTC, em percentagem.

PREÇO

Os preços dos defensivos químicos foram coleados com base no levantamento realizado pelo Instituto de Economia Agrícola IEA/APTA, no convênio Fundepag-AENDA. Os preços são “de balcão”, coletados trimestralmente, sem ponderação de quantidade. Os preços do defensivo biológico *M. anisopliae* foi coletado em uma biofábrica. Para este trabalho, além da composição do custo do tratamento da cigarrinha-da-raiz, interessa a variação desses preços no período e sua tendência para os próximos anos. Para mostrar o comportamento dos preços dos defensivos, cesta de defensivos para cana, inseticidas, e inseticidas específicos para a cigarrinha, fez-se o deflacionamento dos preços e a variação percentual. Utilizou-se a variação percentual média de cada período para cada grupo. Dessa forma, converteu-se o início da série (janeiro de 2000) para Base 100. Como há defensivos descontínuos na série, pois entram ou saem durante a série histórica, procedeu-se um teste para verificar qual era a influência desses produtos descontínuos na média da variação do conjunto. Concluiu-se não haver diferença que cause interferência no grupo de defensivos contínuos em relação ao grupo completo que inclui os descontínuos.

Gráfico 1

Índices de preços de defensivos e de inseticidas químicos para cigarrinha da raiz na cana, 2000-2005

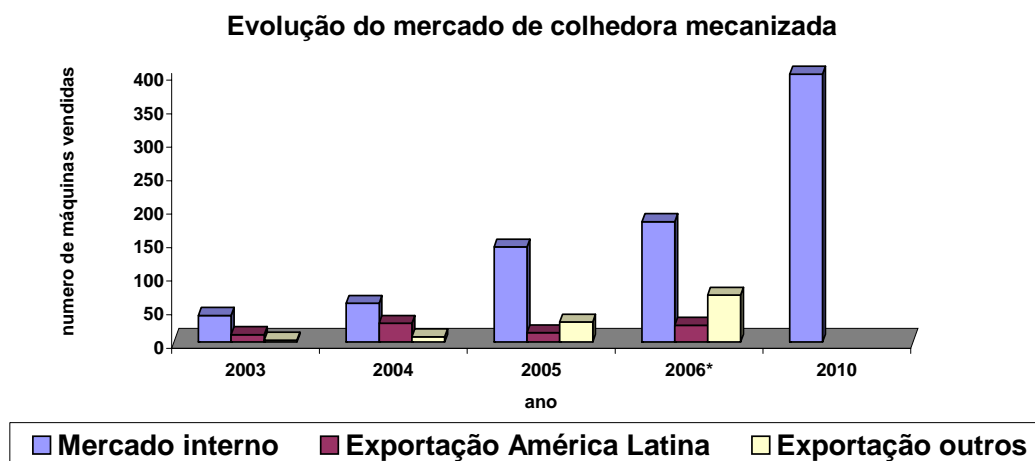


No Gráfico 1, demonstra-se a variação do índice de preços dos defensivos, inseticidas, cesta para defensivos para cana e o TEMIK 150 (produto com ação potencial para cigarrinha), sendo que todos seguiram tendência de alta em função da taxa de câmbio, iniciando queda no ano de 2005, com exceção para o Furadan 50 G que manteve o preço com ligeira queda em 2005. Já os produtos cuja ação para o controle da cigarrinha, tanto o ACTARA quanto o *M. anisopliae* tiveram queda constante todo o período.

MECANIZAÇÃO

A área mecanizada é utilizada como indicador de áreas com infestação de cigarrinha que sofrem algum tipo de monitoramento e controle. No Estado de São Paulo, a participação da colheita de cana crua saiu de 25% em 2000 para 35% em 2005. O avanço da mecanização da colheita com a perspectiva de expansão de áreas novas na região oeste do estado de São Paulo cria um potencial de mercado (Gráfico 2) que é um indicador da perspectiva de vendas de máquinas de colheita de cana nos próximos anos, e serve de base para um cenário de expansão das áreas de cana crua em que incide o ataque da cigarrinha.

Gráfico 2



Também, nas áreas em que hoje é considerado inviável o corte mecanizado com o maquinário tradicional em função da declividade, onde há pressão de prazo para cumprir a regulamentação da eliminação queimada, a colheita da cana poderá ser mecanizada com um maquinário alternativo chamado “auxílio mecânico”, que é muito utilizado em algumas culturas hortícolas. Esse maquinário está em desenvolvimento na FEAGRI/UNICAMP e poderá causar uma expansão de área de colheita de cana crua.

CUSTO PULVERIZAÇÃO

A pulverização aérea tem rendimento maior e pode ser utilizada a qualquer época no canavial, entretanto, há maior dificuldade de fazer o defensivo chegar à base da soqueira da cana. As características da pulverização por tipo de produto aplicado para controle da cigarrinha da raiz são demonstradas na Tabela 1.

Tabela 1: Características da pulverização aérea por tipo de produto aplicado para controle da cigarrinha-da-raiz.

Formulação	Dosagem	Vazão	Área	Condição	Preço		Aeronaves
<i>Biológico</i>	<i>(kg/ha)</i>	<i>(l/ha)</i>	<i>(ha)</i>	<i>(umidade)</i>	<2003	<2006	
Pó molhável	1	30-40	25000	Alta umidade	+30%	28,00	10
Arroz granulado	10 (2000) a 5 (2006)	40		Chuva	+30%	14,00	
<i>Químico</i>				<i>(Vento)</i>			
Actara							
Furadan 50 G	250 ml/ha		1500	De manhã cedo e fim da tarde	+30%	10,00	1
Evidence							

A evolução da adoção da pulverização aérea de *M. anisopliae* contou com investimentos específicos para esta prática, uma vez que, sua aplicação depende de alta percentagem de umidade do ar, situação que exige um período chuvoso, e que torna as condições das pistas de pouso inviáveis sem pavimentação para essa prática. Portanto, as usinas passaram a investir revestindo com cascalho as pistas de pouso para os dias de chuva. Além do fator chuva, há o aspecto do custo de deslocamento da aeronave até o canavial, que se não houver uma pista muito próxima à área de aplicação, os custos podem tornar a prática inviável economicamente. Há menor custo logístico na operação de pulverização química, pois não depende das mesmas condições de clima que o biológico, porém o custo do produto e os resultados econômicos não favoráveis diminuíram essa prática. A partir da crise da soja, houve alta concorrência na prestação do serviço, pois 200 aeronaves migraram do MT para SP, porém sem qualificação técnica para aplicação de *M. anisopliae*. Os resultados gerais pioraram em função de aplicações mal feitas. Em SP operam de 500 a 600 aeronaves. Tanto os dados do CTC, quanto à opinião dos entrevistados revela que, atualmente, 50% da área total é pulverizada via aérea.

A vantagem da aplicação terrestre é que a aplicação é localizada, pois se utiliza um pingente na barra de aplicação que leva o produto à base da soqueira, reduzindo a dose de aplicação. Porém, a desvantagem é que o equipamento só pode entrar no canavial até fevereiro, quando a altura da cana ainda permite. A pulverização terrestre pode ser realizada com o autopropelido ou trâmpulo. O primeiro é um equipamento já muito utilizado em irrigação, fertirrigação e pulverização. O trâmpulo é uma adaptação de um trator com uma elevação para que seja possível a entrada das rodas entre linhas no canavial. Seu rendimento é de 2,5 a 3 ha/hora. Entretanto, essa adaptação não teve sucesso, uma vez que, o equipamento não teve bom desempenho e sofre avarias. O autopropelido tem um rendimento de 12 a 15 ha/hora e pode-se fazer aplicação com a cana até 1,80m de altura. O preço da aplicação de *M. anisopliae* via terrestre utilizando autopropelido varia de R\$44,00/ha a R\$45,00/ha. No caso da aplicação química, o carregamento é facilitado, pois não é necessário pessoal para fazer o preparo da calda, e não precisa de alta umidade.

5.2 Resultados Parciais

Com base nos dados tratados, fez-se a totalização para construção tabela de variáveis de diferentes safras, caracterizando a evolução do controle biológico da cigarrinha-da-raiz na cana, visando a criação de curvas de adoção e aprendizagem para projeção nos próximos anos.

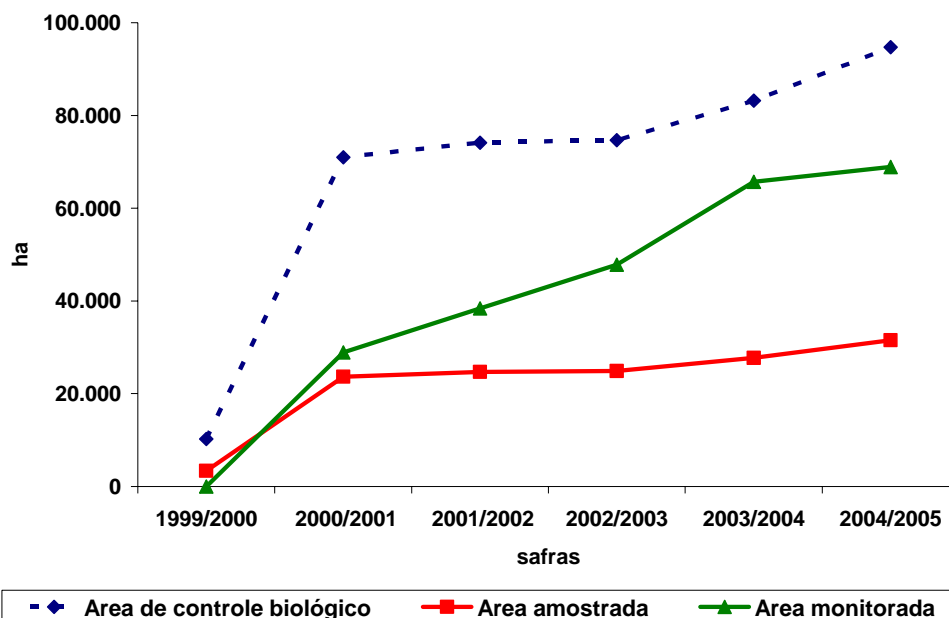
Tabela 2: Variáveis de avaliação econômica do controle biológico da cigarrinha da raiz.

Variável	Unid.	Safrá					
		1999/2000	2000/2001	2001/2002	2002/2003	2003/2004	2004/2005
Equipe campo	<i>homem.h</i>	-	-	-	22.365	28.513	28.078
Pontos amostrados acum.	<i>pontos</i>	-	-	93.210	88.225	178.144	196.283
Densidade da amostragem	<i>Pontos/há</i>	0,00	0,00	2,43	1,84	2,71	2,85
Deslocamento acumulado	<i>km</i>	-	-	-	130.677	93.381	111.269
Custo de monitoramento	<i>R\$/há</i>	6,62	6,62	6,62	6,62	6,62	6,62
Área de controle biológico	<i>Há</i>	10.224	70.995	74.137	74.652	83.151	94.717
Área amostrada	<i>Há</i>	3.408	23.665	24.712	24.884	27.717	31.572
Área monitorada	<i>Há</i>	4160,08	28.887	38.415	47.828	65.657	68.875
Área tratada total	<i>Há</i>	903	4.833	6.244	8.815	25.783	25.642
Área de pulverização Aérea	%	50	50	50	50	49,90	49,10
Área de pulverização Terrest.	%	50	50	50	50	50,10	50,90
Infecção adultos	%	-	-	-	23,78	26,62	13,20
Infecção ninfas	%	-	-	-	5,13	1,18	2,20
Infestação <5ninfas/metro	%	78,31	82,62	83,74	88,19	92,70	91,15
Infestação 5-10ninfas/metro	%	7,28	8,23	7,86	7,68	5,50	2,68
Infestação 10-15ninfas/metro	%	5,74	4,82	3,05	1,77	0,90	1,12
Infestação 15-20ninfas/metro	%	3,87	0,69	1,47	0,97	0,50	0,63
Infestação 20-30ninfas/metro	%	1,39	1,91	2,31	0,66	0,40	0,26
Infestação 30-40ninfas/metro	%	1,99	0,16	0,55	0,18	0,00	0,00
Infestação >40ninfas/metro	%	1,43	1,57	1,01	0,54	0,00	0,00
Preço Kg Fungo (pó molhável)	<i>R\$/há</i>	27,70	26,19	23,72	20,29	16,44	14,51
Preço Aplicação aérea	<i>R\$/há</i>	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Preço Aplicação terrestre	<i>R\$/há</i>	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Dose fungo	<i>kg/há</i>	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Quantidade aplicada	<i>T</i>	3.612	19.332	24.976	35.259	103.132	102.568
Custo área controle biológico	<i>1000 R\$</i>	90.374	2.447.117	3.699.324	6.306.269	43.715.594	38.162.775
Preço kg def. químicos	<i>R\$</i>	739,00	692,36	641,95	563,15	501,73	450,26
Custo controle químico	<i>R\$/há</i>	399,50	376,18	350,97	311,57	280,86	255,13
Custo área total contr. químico	<i>1000 R\$</i>	162.905	4.393.547	6.841.982	12.104	93.354	83.875
Benefício	<i>1000 R\$</i>	72.530	1.946.430	3.142.658	5.798.394	49.638.733	45.712.714
Relação benefício custo	-	0,80	0,80	0,85	0,92	1,14	1,20

*Preços constantes. Deflacionados pelo IGP-DI FGV Base: outubro/2005

A taxa de adesão ao controle biológico, Gráfico 3, a quantidade aplicada do produto tem aumentado, entre as safras 1999-2000 e 2004-2005, Tabela 2. A evolução das áreas amostrada, monitorada, e de controle biológico demonstra a adoção da tecnologia, podendo haver aplicação ou não do fungo *M. anisopliae*.

Gráfico 3

Evolução da adoção do controle biológico da cigarrinha-da-raiz da cana, nas áreas monitoradas pelo CTC – safra 1999/2000 a 2004/2005**6. Considerações finais**

O mercado de controle biológico da cigarrinha entre os produtos os inseticidas químicos Thiamethoxam (*Actara* e *Evidence*), os quais são mais específicos para a cigarrinha, têm seus preços declinantes, persistentemente, desde 2000, registrando uma queda de 47,63%, comportamento contrário da média das variações de preços dos inseticidas e defensivos em geral, que no período de 2000 a 2004 registraram alta de 60%, e uma queda de 14% de agosto de 2004 a outubro de 2005 (Gráfico 1).

Quando se observa a comparação do comportamento dos preços dos principais produtos utilizados no controle da cigarrinha da raiz, fica nítido o padrão de concorrência. O fungo *M. anisopliae*, mostra tendência de queda, fazendo forte concorrência com os químicos, entre o quais surgiu o novo produto, o *Evidence* (da Bayer) para fazer frente ao concorrente direto, o *Actara* (da FMC).

Outro fato interessante é observar que desde 2000, quando as infestações da cigarrinha intensificaram-se, até 2006, os níveis de dano econômico e níveis de controle tenderam a baixar, tanto para químico quanto para biológico. No caso do químico, deve-se mais ao fato de que a relação benefício/custo aumenta com a diminuição do preço do produto químico *Actara*. No caso do controle biológico, há também o fator de aprendizagem, o que permitiu maior relação benefício/custo com aplicações mais “certeiras” do controle biológico. Em ambos os casos, a boa remuneração do açúcar e do álcool nesse período e na expectativa dos próximos anos melhora essa relação benefício/custo, porém diminui incentivos para maior atenção às margens de contribuição.

Referências

Almeida, José Eduardo Marcondes. Resultados do controle biológico da cigarrinha da raiz da cana-de-açúcar com *Metarhizium anisopliae*. IX RIFIB Cana-de-açúcar. In: Anais da IX

- Reunião Itinerante de Fitossanidade do Instituto Biológico. pp.32-41. Cartanduva, Outubro 2003. 107p.
- Almeida, Luiz Carlos de. **Casos de sucesso no controle de pragas da cana-de-açúcar, usando metodologias recomendadas pelo CTC.** Centro de Tecnologia Canavieira. Apresentação no InsectShow. Ribeirão Preto, 26 de Outubro de 2005.
- Almeida, L.C.; Arrigoni, E.B.; Precetti, A.A.C.M. Dez anos de controle biológico da broca da cana-de-açúcar, *Diatraea saccharalis*, nas usinas cooperadas. V Seminário de Tecnologia Agronômica. In: Anais do V Seminário de Tecnologia Agronômica. Piracicaba: Centro de Tecnologia Copersucar. pp.141-151, novembro, 1991.
- Almeida, J. E. M.; Batista Filho, A.; Santos, A. S. Avaliação do controle biológico de *Mahanarva fimbriolata* (Hom., cercopidae) com o fungo *Metarhizium anisopliae* em variedades de cana-de-açúcar e diferentes épocas de corte. *Arquivos do Instituto Biológico*. São Paulo, v.70, n.1, pp.101-103, jan./mar., 2003.
- Arrigoni, E.B.; Rodrigues Filho, J.P.R. Importância econômica do controle das formigas cortadeiras. V Seminário de Tecnologia Agronômica. In: Anais do V Seminário de Tecnologia Agronômica. Piracicaba: Centro de Tecnologia Copersucar. pp.121-128, novembro, 1991.
- Ayer, Harry W.; Schuh, G. Edward. Social rates of return and other aspects of agricultural research: the case of cotton research in São Paulo, Brazil. *American Journal of Agricultural Economics*. pp.557-569, november, 1972.
- Batista Filho, A.; Almeida, J.E.M.; Santos, A.S., Machado, L.A.; Alves, S.B. Eficiência de isolados de *Metarhizium Anisopliae* no controle de cigarrinha-da-raiz da cana-de-açúcar *Mahanarva Fimbriolata* (Hom.: cercopidae). *Arquivos do Instituto Biológico*. São Paulo, v.70, n.3, pp.309-314, jul./set., 2003.
- Dasgupta, P. David, P.A. Toward a new economics of science. *Research Policy*. 23, 487-521, 1994.
- Dinardo-Miranda, L.L.; Figueiredo, P.; Landell, M.G.^a; Ferreira, J.M.G.; Carvalho, P.A.M. Danos causados pelas cigarrinhas das raízes (*Mahanarva fimbriolata*) a diversos genótipos de cana-de-açúcar. *STAB - Açúcar Alcool e Subprodutos*. Piracicaba-SP. Vol. 17, n.5, Maio-Junho, 1999.
- Dinardo-Miranda, L.L.; Garcia, V.; Coelho, A.L. Eficiência de inseticidas no controle da cigarrinha das raízes *Mahanarva fimbriolata* em cana-de-açúcar. *STAB - Açúcar Alcool e Subprodutos*. Piracicaba-SP. Vol. 20, n.1, setembro/outubro, 2001
- Dinardo-Miranda, Leila Luci. **Cigarrinha-das-raízes em cana-de-açúcar**. Campinas : Instituto Agronômico, 2003. 72p.
- Ferguson, C. E. **Teoria microeconômica**. (Trad. de Barbassa, A.G.; Brandão. A.P.) Rio de Janeiro: Forense-Universitária. 1976. 615p.
- Fernandes, Antônio Carlos e Tatizana, Sérgio A. Retorno econômico do Programa de Melhoramento da Cana-de-Açúcar da Copersucar nas safras de 86/87 a 90/91. V Seminário de Tecnologia Agronômica. In: Anais do V Seminário de Tecnologia Agronômica. Piracicaba: Centro de Tecnologia Copersucar. pp.79-89, novembro, 1991.
- Futino, Ana Maria; Salles Filho, Sérgio. A biotecnologia na agricultura brasileira: a indústria de defensivos agrícolas e o controle biológico. *Agricultura em São Paulo*. São Paulo, v. 38 (Tomo Especial), pp.45-88 1991.
- Gazzoni, Décio L. Contribuição das ciências agrárias para o desenvolvimento: o caso do controle biológico. *Revista Brasileira de Economia e Sociologia Rural*. Brasília: SOBER. V.3, 1980.
- Georghiou, Luke; Roessner, David. Evaluating technology programs: tools and methods. *Research Policy*. 29, pp.657-678, 2000.

- Griliches, Z. Research costs and social returns: hybrid corn and related innovations. *Journal of Political Economy*. 1958.
- Hayami, Yujiro; Ruttan, Vernon M. **Agricultural Development: An International Perspective**. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1985.
- Hirschfeld, Henrique. **Engenharia econômica e análise de custos: aplicações práticas para economistas, engenheiros, analistas de investimentos e administradores**. 4^a ed. rev. e ampl. São Paulo: Atlas. 1989. 453p.
- Norgaard, Richard B. The Biological Control of Cassava Mealybug in Africa. *American Journal of Agricultural Economics*. 70, pp.366-371, May, 1988.
- Pinazza, Antônio Ermínio; Gemente, Antônio Celso; Matsuoka, Sizuo. Retorno social dos recursos aplicados em pesquisa canavieira: o caso da variedade NA56-79 no Estado de São Paulo. *Revista de Economia Rural*. Brasília: SOBER. 22 (1) pp.17-37, jan./mar., 1984.
- Silva, S.R.; Almeida, Z.M. Avaliação de projetos de pesquisa agrícola: discussão de uma metodologia para mensuração dos benefícios "ex-ante". *Revista Brasileira de Economia e Sociologia Rural*. Brasília: SOBER. 1996.
- Sunding, David; Zilberman, David. The Agricultural Innovation Process: Research and Technology Adoption in a Changing Agricultural Industry. In **Handbook of Agricultural and Resource Economics**, ed. Bruce Gardner and Gordon C. Rausser, Amsterdam: Elsevier Science, 2001, pp. 207-261.
- Swinton, Scott M.; Day, Esther. **Economics in the Design, Assessment, Adoption, and Policy Analysis of Integrated Pest Management**. Department of Agricultural Economics. Michigan State University. *Staff Paper* 00-2. (Prepared for the Integrated Pest Management Task Force of the Council for Agricultural Science and Technology (CAST)) January, 2000. 29p. Disponível na Internet: <http://agecon.lib.umn.edu/cgi-bin/pdf_view.pl?paperid=1854> Acessado em abril de 2005. e In: **Integrated Pest Management: Current and Future Strategies**. pp. 196-206. Disponível na Internet: <<http://www.msu.edu/user/swintons/chapter12.pdf>> Acessado em abril de 2005.
- Veiga Filho, Alceu de Arruda. **Mecanização da colheita de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo: uma fronteira de modernização tecnológica da lavoura**. Dissertação (mestrado) 1998. Instituto de Geociências – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1998. 127p.
- Zeddies, J.; Schaab, R.P.; Neuenschwander, P.; Herren, H.R. Economics of biological control of cassava mealybug in Africa. *Agricultural Economics*. 24, pp.209-219, 2001.