

MARCELA MIRANDA DE LIMA

NÍVEIS DE DANO ECONÔMICO PARA CUPINS (INSECTA:
ISOPTERA) EM CANA-DE-AÇÚCAR

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2008

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

L732n
2008

Lima, Marcela Miranda de, 1983-
Níveis de dano econômicos para cupins
(Insecta : Isoptera) em cana-de-açúcar / Marcela Miranda de
Lima – Viçosa, MG, 2008.
ix, 33f.: il. ; 29cm.

Orientador: Og Francisco Fonseca de Souza
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 29-33
Inclui bibliografia.

1. Térmita - Doenças e pragas - Controle. 2. Térmita -
Danos - Aspectos econômicos. 3. Cana-de-açúcar -
Produção. 4. Cana-de-açúcar - Teor de sacarose. 5. Açúcar
- Produção. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 595.736

MARCELA MIRANDA DE LIMA

NÍVEIS DE DANO ECONÔMICO PARA CUPINS (INSECTA:
ISOPTERA) EM CANA-DE-AÇÚCAR

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 26 de setembro de 2008.

Prof. Simon Luke Elliot

Prof. Márcio Henrique Pereira Barbosa
Co-orientador

Prof. Ronaldo Reis Júnior

Prof. Angelo Pallini

Prof. Og Francisco Fonseca de Souza
Orientador

Dedico este trabalho aos meus pais,
Eraldo e Nerilda,
por todo o amor e carinho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por todas as oportunidades que tem me dado e pelas pessoas maravilhosas que tem colocado no meu caminho;

Aos meus pais, Eraldo e Nerilda, e ao meu irmão, Edilson, por todo o amor, carinho e dedicação, pela disposição incansável em me ajudar e por terem acreditado sempre em mim;

Ao amor da minha vida, Fred, que começou esta caminhada como meu namorado e termina como meu amado esposo, por todo o seu amor e carinho, por me dar forças quando elas acabam, por me fazer acreditar em mim e por me ajudar a ser sempre uma pessoa melhor;

À minha querida família, sempre presente e disposta a ajudar;

Ao meu querido orientador, Og, que sempre fez esforço para entender as minhas idéias, nem sempre muito claras... e que acreditou em mim e me deu uma oportunidade única de me encontrar naquilo que faço;

Ao professor Márcio Barbosa pela pronta disposição em me ajudar, pela paciência em tirar todas as minhas dúvidas e pelas valiosas críticas ao trabalho;

Aos colegas de laboratório de Termitologia, pela agradável convivência e pela ajuda sempre que precisei;

À UFV e à Pós-graduação em entomologia pela oportunidade;

À Usina Jatiboca pela área experimental e ao Antônio Carvalho pela ajuda no trabalho de campo;

Ao CNPQ, pela bolsa concedida.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	vii
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Cupins	1
1.2 Importância dos cupins em sistemas agrícolas	2
1.2.1 Aspectos positivos	2
1.2.2 Aspectos negativos	3
1.3 A cana de açúcar	4
1.4 Cupins em cana	4
1.5 Cupins são realmente praga em cana-de-açúcar?	6
1.6 Objetivos do trabalho	9
2 ECONOMIC INJURY LEVELS OF TERMITES (INSETCA: ISOPTERA) IN SUGARCANE	10
2.1 Abstract	11
2.2 Introduction	11
2.3 Material and Method	13
2.3.1 Study area	13

2.3.2	Productivity parameters	13
2.3.3	Termite sampling	14
2.3.4	Statistical analysis	14
2.3.5	Economical analysis	15
2.4	Results	16
2.5	Discussion	22
2.5.1	Expected sugar productivity	22
2.5.2	Cane yield	22
2.5.3	Sucrose content of sugarcane	23
2.5.4	Economical analysis	24
2.5.5	Termite genera	26
2.5.6	Concluding remarks	27
3	CONCLUSÕES GERAIS	28
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

LISTA DE FIGURAS

Página

1 Cane yield (tons of stalk/ha) of sugarcane under natural termite infestations. For simplification of the graph, we considered the intercept values as the mean for the blocks. (Cane yield = $84.5544 - 0.2755 * \text{Infestation} + 8.9564 * \text{Season late} + 17.2871 * \text{Season mid}$) 18

2 Expected sugar yield (tons of pol/ha) of sugarcane under natural termite infestations. For simplification of the graph, we considered the intercept values as the mean for the blocks. (Expected sugar yield = $11.51468 - 0.04558 * \text{Infestation} + 3.84444 * \text{Season Mid and Late}$) 19

3 Economic Injury Level calculated for termites in sugarcane; $EIL = C/V * 0.2755$, were C is cost of management (US\$/ha), V is market value of sugarcane (US\$/ton) and 0.2755 is the cane yield loss caused by 1% of termite infestation (Ton/ha). The more expansive the control is, higher is the termite infestation tolerable without economic losses. Control costs between US\$ 15 and 30 represents present annual value of control based on a single insecticide application at the first year of the crop. Higher values takes in consideration the possibility of adopting extra control measures. 21

4 Economic Injury Level calculated for termites in sugarcane; $EIL = C/V * 0.2755 * K$, were C is cost of management (US\$/ha), V is market value of sugarcane (US\$/ton), 0.2755 is the yield loss caused by 1% of termite infestation (Ton/ha) and K is the proportional amount of total damage avoided by the control procedure. For this graph we used a fixed value for V equal to US\$ 15,00. It can be seen that as K decreases, the EIL increases. 25

LISTA DE TABELAS

	Página
1 Minimum adequate models	17
2 Termite genera sampled in sugarcane fields in a complementary survey in the study area (Urucania, Minas Gerais, Brazil). Samples were taken from 1994 to 1996 covering an area of 1100 ha. Information on current pest status are based on Constantino (2002). n=211 samples	20

RESUMO

LIMA, Marcela Miranda, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2008.

Níveis de dano econômico para cupins (Insecta: Isoptera) em cana-de-açúcar. Orientador: Og Francisco Fonseca de Souza. Co-orientadores: Márcio Henrique Pereira Barbosa e Eraldo Rodrigues de Lima.

Cupins são considerados uma praga chave em cana-de-açúcar no Brasil e medidas preventivas são usualmente adotadas para o seu controle. Entretanto, não se sabe se cupins causam perdas à cultura em qualquer intensidade de infestação e tampouco se sabe quando a perda justifica economicamente o seu controle. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de infestações naturais de cupins sobre a produção da cana-de-açúcar como uma base para se estabelecer em que casos o controle seria economicamente justificável. O delineamento em blocos casualizados foi utilizado para a coleta dos dados. Avaliou-se a resposta dos parâmetros de produtividade - toneladas de colmo por hectare, conteúdo de sacarose do caldo e produção esperada de açúcar - às variáveis explicativas - intensidade da infestação por cupins, variedade da cana-de-açúcar e época da colheita. Foi encontrada uma relação significativa entre a intensidade de infestações naturais de cupins em cana-de-açúcar e redução na produtividade esperada de açúcar. Os cupins causam perdas na produtividade esperada de açúcar da ordem de 0.04558 toneladas de açúcar/ha/ano para cada 1% de infestação de cupins. Esta redução é devida a uma redução na biomassa da planta de 0.2755 toneladas de colmo/ha/ano para cada aumento de 1% na infestação. Por outro lado, os cupins não causaram redução no teor de sacarose do caldo. Nosso trabalho mostra que devido à diluição do custo do controle dos cupins ao longo do período de cultivo da cana e ao alto nível de dano associado à presença dos cupins, maiores investimentos são economicamente viáveis para o controle de cupins em cana e poderiam levar a um aumento na produtividade. Métodos de controle que sejam ambientalmente seguros e economicamente viáveis devem ser buscados para aumentar a produtividade da cana-de-açúcar.

ABSTRACT

LIMA, Marcela Miranda, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, September 2008.

Economic injury levels of termites (Insetca: Isoptera) in sugarcane.

Adviser: Og Francisco Fonseca de Souza. Co-Advisers: Márcio Henrique Pereira Barbosa and Eraldo Rodrigues de Lima.

Termites are considered a key pest of sugarcane in Brazil and preventive control measures are usually recommended. It is not known, however, if termites really cause yield losses in sugarcane at any level of infestation and if the loss economically justifies the preventive control currently in use in the country. The objective of this work was to evaluate the effect of natural termite infestations on sugarcane productivity, as a base to establish when termite control would be economically viable. Random block experimental design was used, with productivity parameters - cane yield (tonnes of stalk per hectare), sucrose content of the juice (pol) and expected sugar yield (tonnes of pol/ha) - as response variables; termite infestation, variety and cropping season as explanatory variables, and fields as blocks. This study demonstrates a significant relationship between natural termite infestation in sugarcane and reduction in sugar yield. Termites cause measurable damage to ratoon sugarcane by reducing the expected sugar yield as termite infestations increase, being the reduction of 0.04558 tonnes of pol/ha per year for increases of 1% of termite infestation. They do so by reducing the cane yield but they do not affect the sucrose content of the juice. The reduction in cane yield is of 0.2755 tonnes of stalk/ha per year related to increases of 1 % in termite infestation. Our study shows that given the dilution of the control price of termites over the period of the crop and the high level of damage related to termite presence in the field, higher investments in termite control are economically suitable and could increase sugarcane productivity. Methods of termite control that are environmentally safe and economically viable must be pursued in order to reduce losses associated to increase sugarcane productivity.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Cupins

Os cupins são insetos sociais pertencentes à ordem Isoptera. Eles vivem em colônias formadas por indivíduos especializados para cada tarefa. Um casal reprodutivo, comumente designados de “rainha” e “rei”, é responsável pela contínua produção de ovos que darão origem às outras castas da colônia, os operários e os soldados. Os operários realizam diversas funções de manutenção da colônia como busca de alimentos e construção do ninho, dentre outras. Já os soldados são responsáveis pela defesa da colônia e são geralmente providos de sistemas de defesa química ou mecânica (mandíbulas bem desenvolvidas) (Lee & Wood, 1971; Harris, 1971).

Normalmente, a população de cupins não sofre rápidas ou extensivas mudanças em números (Harris, 1969), embora algumas de suas atividades possam ser vistas concentradas em alguns períodos, como é o caso das revoadas. Com a ausência de bruscas flutuações populacionais, no entanto, os cupins não se apresentam em surtos como outros insetos (Paranhos, 1987).

Os cupins são organismos de corpo mole e, salvo algumas exceções, têm hábito subterrâneo e fogem da luz. Sua atividade de forrageamento se dá quase que exclusivamente por debaixo do solo, dentro de galerias construídas com solo, fezes e saliva ou dentro da sua fonte de recurso, como por exemplo dentro do tronco de uma árvore (Harris, 1971). Desta forma, sua atividade e também os danos causados por eles muitas vezes não são visíveis do exterior.

Sua alimentação é composta basicamente de recursos vegetais (casca de árvores, madeira, folhas, gramíneas) em diversos estágios de decomposição, em um gradiente que abrange desde plantas vivas até matéria orgânica em decomposição dispersa no solo (humus) (Donovan et al., 2001).

1.2 Importância dos cupins em sistemas agrícolas

1.2.1 Aspectos positivos

Embora sejam bastante conhecidos por seus aspectos negativos, os cupins são responsáveis por inúmeros processos positivos tanto em ecossistemas naturais como em sistemas agrícolas (Black & Okwakol, 1997). A influência dos cupins nas propriedades do solo envolve processos físicos e bioquímicos.

Os cupins buscam partículas de solo em diferentes profundidades para a construção de seus ninhos e galerias e também para sua alimentação, no caso dos cupins humívoros. As estruturas por eles formadas e suas fezes sofrem a ação do intemperismo e assim, o solo trazido de camadas mais profundas é constantemente redistribuído na camada superficial do solo (Lee & Wood, 1971). Desta forma, os cupins alteram características físicas do solo como a concentração de argila, a capacidade de retenção hídrica e a porosidade (Konaté et al., 1999). O aumento da porosidade no solo devido à construção de galerias pelos cupins pode permitir o crescimento de raízes das plantas em solos compactados (Watt et al., 2006).

Além de afetar as propriedades físicas do solo por eles trabalhado, os cupins também afetam sua fertilidade. Estudos mostram que a liberação de nutrientes do esterco, de plantas utilizadas como adubo verde e de resíduos agrícolas são influenciados, dentre outros fatores, pela atividade dos cupins (Mando, 1997; Black & Okwakol, 1997).

Os cupins promovem ainda a mineralização da matéria orgânica disponível no solo, seja através da passagem desta pelo seu complexo sistema digestivo (Ji et al., 2000; Ji & Brune, 2001, 2005), seja pelo favorecimento do estabelecimento de bactérias em seus ninhos (Ndiaye et al., 2004), tornando desta forma os nutrientes disponíveis para as plantas. Conhecendo as qualidades do solo trabalhado pelos cupins, agricultores de subsistência na África comumente espalham terra de cupinzeiro sobre suas plantações com o objetivo de fertilizar o solo (Black & Okwakol, 1997).

Um outro efeito positivo que os cupins podem ter em sistemas agrícolas é o aumento da produtividade pela redução na competição entre as plantas. Em culturas com alta densidade, há indicativos de que o ataque de cupins com conseqüente redução no número de plantas pode, na verdade, ter um efeito positivo sobre a produtividade, ao reduzir a competição entre as plantas por água, nutrientes e espaço (Black & Okwakol, 1997).

Cadet et al. (2004) descrevem, para a cana-de-açúcar, um exemplo dos efeitos positivos dos cupins sobre as plantas em áreas agrícolas, os “isiludi” na África do Sul. Este nome é dado a áreas circulares de crescimento excepcional da cana-de-açúcar associadas a ninhos de cupins. Nestas áreas, a cana chega a ter o dobro do tamanho da cana nos arredores, e produz cerca de 5 vezes mais em peso. Os autores atribuem este crescimento excepcional da cana nestas áreas a um aumento na quantidade de argila e à maior capacidade de retenção hídrica do solo, além da maior quantidade de alguns nutrientes ligados à atividade dos cupins.

Desta forma, pode-se dizer que os cupins têm um efeito profundo sobre as propriedades e sobre a estrutura do solo e, embora os cupins que constroem ninhos superficiais, os montículos, sejam protagonistas mais óbvios destas ações, cupins que constroem ninhos subterrâneos também têm um importante papel neste sentido (Nutting et al., 1987).

1.2.2 Aspectos negativos

Apesar de todos os aspectos positivos relacionados aos cupins citados acima, os cupins são mais conhecidos pelos seus efeitos negativos. Constantino (2002) faz uma revisão das informações disponíveis para a América do Sul; das 400 espécies de cupins registradas, 77 espécies foram reportadas como pragas agrícolas ou estruturais, destas, 53 foram reportadas como praga agrícola, 40 como pragas estruturais e 15 como ambos. Entretanto, não há até o momento estimativas concretas dos danos causadas pelos cupins nem a importância relativa das diferentes espécies.

Embora a habilidade de se alimentar de plantas vivas tenha se desenvolvido em um número limitado de grupos de cupins (Harris, 1969), estes causam danos em diversas culturas. No Brasil, dentre as culturas que sofrem ataque de cupins estão: cana-de-açúcar, arroz, milho, amendoim, mandioca, eucalipto e árvores frutíferas (Constantino, 2002). Os cupins podem atacar as plântulas, as raízes, o caule ou as folhas sendo o alvo do ataque diferente para cada cultura e para cada espécie de cupim; várias espécies de cupins podem atacar simultaneamente diferentes partes de uma mesma planta.

Ao atacarem as mudas recém plantadas, como no caso do eucalipto (Calderon & Constantino, 2007) e da cana-de-açúcar (Harris, 1969), os cupins causam falhas no plantio. No caso do ataque às raízes do arroz, os cupins reduzem bastante a produtividade de grãos (Ferreira & Barrigossi, 2006). Já no caso do ataque às raízes de milho, seu efeito pode ser o tombamento da planta adulta, podendo levar a ataques

posteriores de roedores, fungos, apodrecimento e contaminação por aflotoxina (Sileshi et al., 2005).

1.3 A cana de açúcar

A cana-de-açúcar é originária da Ásia mas é atualmente cultivada em diversos países tropicais do mundo. A cana necessita de uma época quente e chuvosa para o seu desenvolvimento vegetativo, e uma época fria e/ou seca para o enriquecimento em açúcares (Fernandes, 1990). O seu ciclo de cultivo é de cinco anos desde o plantio até a reforma da lavoura, sendo a cana cortada a cada ano.

A sua importância deve-se, em parte à sua múltipla utilização, podendo ser empregada para forragem, alimentação animal, ou como matéria prima para a fabricação de açúcar, álcool, melado e aguardente. Atualmente, a cana-de-açúcar cultivada no Brasil destina-se principalmente para a fabricação de açúcar e álcool sendo a matéria-prima que permite os menores custos para a produção destes itens (Brasil, 2007).

A cana-de-açúcar tem merecido destaque cada vez maior no cenário mundial devido à escassez de reservas de petróleo e às mudanças climáticas, que têm levado à busca por fontes alternativas de energia. Nesse contexto, o Brasil se destaca com a maior produção de cana-de-açúcar no mundo, com constante crescimento, não apenas da área plantada, mas também na produtividade em toneladas por hectare (Brasil, 2007).

Visando aumentar a produtividade da cana-de-açúcar, pesquisas têm sido feitas em diversos setores, principalmente no melhoramento genético, para a criação de cultivares mais produtivos e resistentes a doenças e pragas (Falco et al., 2001). Esforços também têm sido feitos no combate às doenças e pragas da cultura, dentre as quais se destacam os cupins.

1.4 Cupins em cana

As espécies de cupins mais comuns em áreas de cana-de-açúcar podem ser divididas quanto ao seu hábito de construir ninhos. Existem os cupins de montículo, que constroem ninhos sobre o solo e cupins subterrâneos, que constroem ninhos dentro do solo. Tanto os cupins de montículo como os cupins subterrâneos trazem problemas à cultura da cana-de-açúcar. Os montículos são feitos com um envoltório terroso muito duro, o que constitui um transtorno quando a colheita da cana é

realizada de modo mecanizado. Entretanto, os cupins de montículo são raramente encontrados atacando tecidos vivos das plantas (Macedo et al., 1995). Desta forma, é dentre os cupins subterrâneos que encontramos as espécies capazes de causar danos diretos à cana-de-açúcar.

Os danos causados pelos cupins à cana-de-açúcar ocorrem em três períodos distintos no ciclo da cana-de-açúcar; logo após o plantio, na cana madura e após o corte da cana para rebrota (Harris, 1969; Novaretti, 1985). Logo após o plantio os cupins penetram pelas extremidades dos toletes-sementes e, ao se alimentar dos seus tecidos internos, danificam as gemas, prejudicando a germinação da cana. Ainda na cana recém-plantada, os cupins podem atacar o sistema radicular, debilitando a nova planta. As falhas provocadas pelos cupins no plantio podem inclusive exigir o seu replantio. Na cana madura, os cupins penetram nos colmos provocando o secamento e a morte dos mesmos. Após o corte da cana, as touceiras ficam vulneráveis nas superfícies cortadas e são muitas vezes a principal fonte de alimento e umidade para os cupins no período entre o corte da cana até o início da rebrota das soqueiras sendo assim um período de ataque dos cupins à plantação (Garcia et al., 2005).

Comparações de produção feitas entre áreas tratadas e áreas não tratadas com diferentes inseticidas indicam um aumento de produtividade relacionado ao controle dos cupins. Em função destes dados, os cupins têm sido apontados como uma importante praga da cana-de-açúcar com danos superiores a 10 toneladas por hectare, podendo chegar a 20 toneladas por hectare (Novaretti, 1985; Novaretti & Carderán, 1988). Entretanto, estes trabalhos não determinam o nível de infestação por cupins responsável por esta queda na produtividade.

O controle de cupins em canaviais era feito até a década de 80 com inseticidas organoclorados, que eram eficientes e baratos, embora fossem altamente tóxicos. Uma das grandes vantagens destes produtos era o seu alto poder residual no campo (Novaretti, 1985; Macedo et al., 1995), característica muito importante na cultura da cana, onde a reforma do plantio se dá de cinco em cinco anos, aproximadamente. Devido ao baixo custo destes produtos, houve uma estagnação na demanda técnica por produtos e métodos de controle mais eficientes e menos nocivos ao meio ambiente, o que atrasou consideravelmente o conhecimento técnico-científico na área.

Com a proibição do uso dos organoclorados em 1985, novos produtos foram desenvolvidos e testados para o combate aos cupins em cana, mas até o momento poucos produtos apresentam a mesma eficiência dos clorados para o controle

de cupins em cana-de-açúcar. Além disto, dentre os novos produtos, aqueles que apresentam maior poder residual (e.g. REGENT WG) apresentam elevado custo.

Visando a racionalização do controle dos cupins, várias alternativas têm sido propostas, como controle biológico (Almeida et al., 2003; Albuquerque et al., 2005), controle cultural (Novaretti et al., 1991) e monitoramento das infestações visando redução nos gastos com inseticidas (Novaretti et al., 1990).

Fica entretanto a questão: cupins são realmente praga em cana-de-açúcar? Ou, a partir de que nível de infestação é economicamente viável o combate a estes organismos em cana-de-açúcar?

1.5 Cupins são realmente praga em cana-de-açúcar?

O termo “praga” é arbitrário, sendo que o mesmo inseto pode ser considerado praga sob determinada situação e não em outra. Insetos são geralmente denominados praga quando competem com os seres humanos por algum recurso e geralmente quando presentes em números elevados (Metcalf & Luckmann, 1994). Mesmo no caso de uma injúria causada por um organismo tido como praga, esta pode ser tolerada pela planta uma vez que a maioria das plantas é capaz de tolerar algum nível de injúria sem sofrer perda apreciável de vigor (Pedigo, 1959; Metcalf & Luckmann, 1994). Assim, nem sempre a presença de um organismo tido como praga em uma cultura implica em necessidade de controle do mesmo. A importante questão então é: quando se deve iniciar o controle?

É necessário considerar que, embora o organismo possa causar redução na produtividade na lavoura, o seu controle também implica em custos. Desta forma, é necessário contrabalancear as perdas causadas pelo inseto e o custo do seu controle para que não aconteça de se gastar mais no controle do organismo do que o prejuízo que ele poderia causar em perda de produção. Assim, os fatores mais importantes influenciando a decisão de controle de uma dada praga são: o valor de mercado do produto, os custos do controle, a extensão do dano causado pelo inseto à cultura e a susceptibilidade da cultura ao dano (Pedigo & Rice, 2006). Com base nestes parâmetros, é possível calcular o Nível de Dano Econômico (NDE), definido como “o menor número de insetos capaz de causar dano econômico”, sendo que o “dano econômico” ocorre quando o custo do controle do inseto ultrapassa a perda econômica que aquela densidade de insetos seria capaz de causar. Assim, a população de um inseto abaixo do seu NDE não justifica a adoção de medida de controle, uma vez

que o valor do controle ultrapassaria a perda que aquela densidade de inseto é capaz de causar à cultura. A determinação do NDE foi proposta inicialmente como uma forma de reduzir o uso de pesticidas na agricultura, sendo um dos elementos-chave do manejo integrado de pragas (Pedigo et al., 1986).

O valor do produto no mercado pode flutuar bastante, influenciando profundamente a decisão de controle do inseto. A relação entre o valor do produto e o NDE é inversa; quanto maior o valor do produto, menor é o NDE, ou seja, menor é o número de insetos capaz de causar um dano econômico (Pedigo & Rice, 2006).

O custo envolvido no controle da praga envolve os gastos com mão-de-obra para o monitoramento da praga e a aplicação do inseticida, o valor do inseticida e do uso dos equipamentos (trator, avião, bombas, etc.). Além destes gastos, alguns autores defendem a adição dos efeitos ambientais do uso do inseticida aos custos citados acima (Pedigo & Rice, 2006). Ao adicionar o efeito ambiental do inseticida ao custo de controle, eleva-se o valor do NDE, ou seja, um maior nível de infestação é necessário para causar um dano econômico, e desta forma, reduz-se o uso de inseticidas, preservando assim o meio ambiente. O custo do controle geralmente não sofre grandes variações entre estações ou entre um ano e outro, mas depende principalmente das escolhas feitas quanto à forma de controle. À medida que o custo do controle aumenta, o seu benefício líquido é reduzido, conseqüentemente o NDE deve ser elevado (Pedigo & Rice, 2006).

Outra informação importante para se estabelecer o NDE é a intensidade do dano causado pelo organismo à cultura, ou seja, o quanto a produção é prejudicada por um dado número de insetos. Para a maioria dos insetos, a quantificação direta do dano causada por cada inseto não é normalmente realizada, mas comparações são feitas entre a perda em produtividade associada a dada intensidade de infestação. Com dados desta natureza pode-se realizar regressões lineares e determinar o dano causado por cada inseto. De forma geral, assume-se que a perda por inseto tenha uma relação direta com o número de insetos uma vez que esta é a relação mais comum de ser encontrada nos diversos sistemas (Pedigo & Rice, 2006; Pedigo et al., 1986).

A última informação e talvez a mais importante é a susceptibilidade da cultura ao dano. Este parâmetro pode ser afetado por diversos fatores; o período do ciclo de vida da planta em que o dano ocorre, o tipo e local do dano, a intensidade do dano e fatores ambientais que podem influenciar a habilidade da planta em se recuperar do dano. A recomendação é que se calcule diferentes NDEs para cada

período no ciclo de vida da planta susceptível de ocorrência de dano e para diferentes épocas do ano relacionadas a fatores ambientais que possam afetar a habilidade da planta de se recuperar do dano como época de chuva e de seca por exemplo (Pedigo & Rice, 2006; Pedigo et al., 1986). No caso dos cupins, entretanto, em que as populações geralmente já se encontram estabelecidas no campo, o dano geralmente ocorre em todos os estágios da cultura a menos que alguma medida de controle seja tomada. Desta forma, consideramos um único NDE para a cultura independente do momento em que o dano ocorreu.

Existem diversas formas para se determinar o tipo e a magnitude da resposta da cultura ao dano causado pelo inseto. As mais comuns são (1) a observação de populações naturais de insetos, (2) a modificação de populações naturais do inseto, (3) o estabelecimento de populações artificiais do inseto e (4) a simulação do dano causado pelo inseto (Pedigo & Rice, 2006; Pedigo et al., 1986). A observação de populações naturais é a metodologia mais simples para se determinar o efeito de uma população de insetos sobre dada cultura uma vez que é necessário apenas estimar a densidade de insetos no campo e correlacionar este dado à perda de produção. Esta metodologia tem a vantagem de não necessitar de manipulação do meio, podendo-se, desta forma, avaliar o dano causado pelo inseto em condições naturais. Esta técnica é muito usada para diversas culturas, principalmente nos casos em que a praga está constantemente presente, como é o caso dos cupins. Já a modificação de populações naturais envolve o uso de métodos para reduzir ou aumentar populações naturais encontradas no campo para se estabelecer populações conhecidas de insetos em parcelas isoladas. Para o uso desta metodologia é necessário que se conheça o efeito dos inseticidas sobre a fisiologia das plantas, e no caso de se querer aumentar a população em determinadas parcelas, é preciso um método eficiente de atração dos insetos e de preferência um rápido estabelecimento da população, o que não ocorre para os cupins. O estabelecimento de populações artificiais é ainda mais complicado no caso dos cupins por se tratar de um inseto social em que o estabelecimento depende da construção de ninhos, sendo de difícil manipulação. Por último, há a simulação do dano causado pelo inseto, entretanto esta metodologia é dificultada devido ao tipo de dano causado pelos cupins à cana. Assim, neste trabalho optamos pela observação de populações naturais de cupins no campo para a determinação do dano por eles causados à cana-de-açúcar.

1.6 Objetivos do trabalho

Uma vez que cupins são responsáveis por inúmeros processos positivos no solo, é importante que se saiba a magnitude do efeito negativo das espécies que causam danos para que se possa efetuar seu controle apenas quando necessário. Assim, os objetivos do presente trabalho são:

- Calcular a magnitude do dano causado por cupins às lavouras de cana-de-açúcar com relação à intensidade de sua infestação;
- Determinar o Nível de Dano Econômico para cupins em cana-de-açúcar.

2 ECONOMIC INJURY LEVELS OF TERMITES (IN- SETCA: ISOPTERA) IN SUGARCANE

Marcela Miranda de Lima and Og DeSouza

Artigo submetido à revista European Journal of Agronomy

2.1 Abstract

Termites are considered a key pest of sugarcane in Brazil and preventive control measures are usually recommended. It is not known, however, if termites really cause yield losses in sugarcane at any level of infestation and if the loss economically justifies the preventive control actually in use in the country. The objective of this work was to evaluate the effect of natural termite infestations on sugarcane productivity, as a base to establish when termite control would be economically viable. Random block experimental design was used, with productivity parameters - tons of stalk per hectare, sucrose content of the juice (pol%) and expected sugar productivity (tons of pol/ha) - as response variables; termite infestation, variety and cropping season as explanatory variables, and fields as blocks. This study demonstrates a significant relationship between natural termite infestation in sugarcane and reduction in yield. Termites cause measurable damage to ratoon sugarcane by reducing the expected sugar productivity as termite infestations increase, being the reduction of 0.04558 tons of pol/ha per year for increases of 1% of termite infestation. They do so by reducing the sugarcane yield (tons of stalk) produced per hectare but they do not affect the sucrose content of the juice. The reduction in sugarcane yield is of 0.2755 tons of stalk/ha per year related to increases of 1 % in termite infestation. Our study shows that given the dilution of the price of control of termites over the period of the crop and the high level of damage related to termite presence in the field, higher investments in termite control are economically suitable and could increase sugarcane productivity. Methods of termite control that are environmentally safe and economically viable must be pursued in order to reduce losses associated to increase sugarcane productivity.

2.2 Introduction

In the world, fifty-three species of termites have been recorded as feeding on sugarcane and damages caused by termites occur in almost all countries where the plant is grown commercially (Harris, 1969). Many works report termites as pests in sugarcane (James, 2004; Constantino, 2002; Long & Hensley, 1972). In Brazil, studies comparing plots treated or not with insecticide attribute to termites losses of more than 10 tons/ha per year (Novaretti, 1985; Novaretti & Carderán, 1988). Based mainly on such estimates, several authors consider termites as a major sugarcane

pest in Brazil (e.g. (Albuquerque et al., 2005; Miranda et al., 2004; Almeida et al., 2003) and preventive measures of control are usually recommended.

The damage caused by termites in sugarcane occurs mostly in three periods: (1) Soon after planting - the workers bore into the ends of the setts removing the inner tissues and may cause loss of the setts, (2) When the cane begins to ripen - in that fase termites are able to penetrate the outer layer of the stalk and tunnel inside; (3) After cutting - after harvest the stools are vulnerable at the cut ends allowing termite entrance, hampering subsequent development of ratoons (Paranhos, 1987; Novaretti, 1985; Harris, 1969).

Besides termites being largely recognized as sugarcane pests, the recommendations for their control are normally made without solving the most basic question regarding termite infestations: are termites always pests? Or, is there an intensity of infestation below which the attack does not compensate the cost of control? Without those answers, it is not possible to establish whether control measures are really necessary and when they would be economically suitable. In the past, when chlorinated insecticides were used, such questions were not regarded as crucial, because of the cheapness of these products. Nowadays, with the ban of those products and the use of more expensive insecticides, a rational approach to termite control is needed in order to avoid economic and environmental absurds such as expending more to suppress the pest population than the value of the commodity the pest could destroy (Pedigo et al., 1986).

The economical value of sugarcane yield is based on its expected sugar productivity, which depends not only in the plant productivity in tons/ha (cane yield), but also on the sucrose content of the juice. Sugarcane, as other plants, produce defense compounds such as phenols when attacked by insects (Silva et al., 2005; Madaleno et al., 2008), and according to Madaleno et al. (2008), the energetic requirement to produce those compounds may be the responsible for a reduction in sucrose levels of the plant under hemipteran attacks. Thus, considering that termites also cause injury to sugarcane, it is possible that they cause a reduction in sugarcane sucrose content. Therefore, in order to evaluate economic losses caused by termites in sugarcane, it is essential to know how much a given level of termite infestation in the field affects cane yield and sucrose content of the juice.

The present study investigated the relationship between natural termite infestation in sugarcane crops and yield loss. The objectives were to quantify the yield losses associated to termite infestation in sugarcane in terms of the dif-

ferent productivity parameters, cane yield, sucrose content of the juice and sugar yield. Based on that information and in the sugarcane price, we aimed to determine the economical suitability of adopting the preventive termite control methodology currently in use.

2.3 Material and Method

2.3.1 Study area

Data were collected from May to October 1994 in five experimental sugarcane fields in the municipality of Urucania, state of Minas Gerais, Brazil (20° 18' 0" S; 42° 41' 30" W). The sugarcane fields were in use for variety tests, so each of the five experimental field had six varieties planted, with three amostral units for each one. Our amostral unit encompassed 60 rows, each 10m in length, and 1.10m between rows. There were two exceptions; one field in which one variety was missing and one field where there were two experimental units for each variety instead of three, so in total we had 81 amostral units randomly distributed in the experimental fields. The sugarcane was planted in March 1990 in three fields and in March 1991 in the other two, and harvested in May (early-season), July (mid-season) and September (late-season) of 1994 for all fields.

The varieties planted were NA 56-79, RB 739359, RB 765418, SP 71-108, SP 71-1406 and SP 71-6163, all Brazilian varieties. We used the different varieties planted to show in the analysis if the relationship between infestation and yield loss changes for different varieties.

2.3.2 Productivity parameters

The parameters used for sugarcane productivity were *cane yield* (tons of stalk/ha), *sucrose content of the juice* (pol %) and *expected sugar yield* (tons of pol/ha).

Sugarcane was manually harvested after its burning. Cane yield from each amostral unit was determined by weighing the stalks in a wagon fitted with load cells. To perform the sucrose analysis, three sub-samples were randomly taken from each wagon by an horizontal probe. The sub-samples were then shredded and mechanically mixed to obtain an homogeneous mixture. Sucrose (pol %) was determined from a 500-g sample of shredded stalk, according to the methodology described by

CONSECANA (2006). Expected sugar yield (tons of pol/ha) was estimated as the product of cane yield per hectare and sucrose readings from the samples.

2.3.3 Termite sampling

Termites were sampled one month after harvesting the sugarcane. For each amostral unit, 30 soil samples ($\pm 15 \times 15 \times 20$ cm) were randomly taken and observed in the field for presence or absence of termites. The percentage of samples showing presence of termites for each unit was then calculated and is denominated in the following text as “termite infestation”.

It is worth noting that there are other methods of evaluation of termite infestation different from the one used here, and that the Economic Injury Level (EIL) calculated here will not be applicable in those cases (e.g. some authors measure termite infestation in sugarcane fields by taking two soil samples ($50 \times 50 \times 50$ cm) per hectare and counting the number of termites in that soil (Garcia et al., 2005; Dinardo-Miranda, 2005)).

In the field, different species of termites may co-occur in a single ratoon, hence, their effects can not be easily splitted. Due to this fact, termite identifications were not considered in the analysis, but an independent survey was performed throughout the experimental farms. Termite samples (n=211) were taken in sugarcane fields and identified to genera.

2.3.4 Statistical analisys

Statistical analyses were carried out using generalized linear modelling and normal errors (Crawley, 2002), and were performed under R (R Development Core Team, 2006), followed by residual analyses to verify the suitability of the error distribution and of the models employed.

Response variables were the productivity parameters, *cane yield*, *sucrose content of the juice* and *expected sugar yield*. Explanatory variables were termite infestation (%), sugarcane variety, harvesting season (May (early-season), July (mid-season) and September (late-season)), and fields entered the model as blocks.

For each response variable, full models were built by including all explanatory variables and their interactions. In order to prevent misinterpretation arising from terms redundancy, all possible models have been built and tested, each model comprising all explanatory variables and interactions, but differing from the

others by the order at which the variables infestation, variety and season have been included in the model (the blocking factor -field- was always at the end of the model). Thus, we had six different models for each response variable.

Model simplification was achieved by extracting non-significant terms ($p > 0.05$) from the model according to their respective complexity, starting from the most complex one. When two non-significant terms presented the same complexity, the one explaining less deviance was extracted first. Each term deletion was followed by an ANOVA with F test in order to recalculate the deviance explained by remaining terms. The best final models were chosen based on the Akaike Information Criterion (AIC) given that lower AIC values indicates better fit of the model based on penalization of superfluous parameters (Crawley, 2002). In the cases where ANOVA showed significant differences between treatments, we performed contrast analyses by model selection (Crawley, 2002).

Considering that some plants may tolerate injury without yield losses, or may even increase yield under small levels of injury (Agrawal, 2000; Pedigo et al., 1986), the relationship between the injury caused by an insect to a culture and the effective damage may not be linear. Therefore, in order to test for those possibilities, a quadratic term for termite infestation was added to the minimal models where infestation was significant after the simplification of the models, using the models with lower AIC.

2.3.5 Economical analysis

The Economic Injury Level (EIL), defined as “the minimum number of insects that will cause economic damage” is based on the value of the losses caused by an insect population which equal its control cost, in this case, the expenses of the preventive insecticide application used for the control of termites in sugarcane fields. Its value was calculated using the formula given by Pedigo & Rice (2006):

$$EIL = \frac{C}{V * b} \quad (1)$$

where C is the cost of management per area (US\$/ha), V is the market value per unit of product (US\$/ton) and b is the yield loss per infestation unit.

The recommended insecticides for the control of termites in sugarcane are fipronil (200 g AI/ha), endosulfan (2100-3500 g AI/ha), bifentrina (120 g AI/ha) and imidacloprid (576 g AI/ha) (Garcia et al., 2005; Dinardo-Miranda, 2005). The

prices of the amount of insecticide recommended per hectare are between US\$ 60,00 and 125,00 for current market values in Brazil. These insecticides are usually applied using mechanized sprayers, with an application cost of approximately US\$ 10,00 per hectare (Vicente & Fernandes, 2004). Considering the current recommendation to apply the insecticide only once, when planting the crop, and the fact that sugarcane has a productive cycle of about five years of successive cropping before replanting, we divided the total control costs by five. Thus, the value for the control cost is:

$$\text{Minimum cost} = (60,00 + 10,00) / 5 \text{years} = 14,00 \text{ US\$*ha/year}$$

$$\text{Maximum cost} = (125,00 + 10,00) / 5 \text{years} = 27,00 \text{ US\$*ha/year}$$

However, we considered the possibility of applying the insecticide more than once in the case of severe attacks, which would give higher values of control and could reach US\$ 150,00 per hectare in the extreme case of applying the more expensive insecticide once a year (at each harvest), for example.

For the market value we considered a range of prices around what is paid for the tonne of sugarcane stalk at the industry in the State of São Paulo available at <http://www.udop.com.br>. The price based on weight of the stalks and not on the final product is interesting because it can be used no matter which is the final product (sugar, ethanol, or food for animals for example).

Yield loss was considered related to 1% termite infestation instead of “per insect”, given the social nature of termites.

2.4 Results

Cane yield was negatively affected by termite infestation ($F_{[1,79]} = 7.54$, $p = 0.0076$) and was also affected by cropping season and block, without interactions between any of the variables. In quantitative terms, increases of 1% in termites infestation were associated with losses of 0.2755 tonnes of sugarcane per hectare. Sugarcane harvested in early season had a lower cane yield compared with mid and late harvesting, but the pattern is of decreasing cane yield for increasing termite infestation, no matter the cropping season (Table 1, Figure 1).

Sucrose content of the juice, on its turn, was not affected by termite infestation, being affected only by the cropping season and block, also without interactions between the terms (Sucrose = $12.3086 + 1.6948 * \text{SeasonMid} + 3.7528 * \text{SeasonLate}$) (Table 1).

Expected sugar yield, which is the product of cane yield by sucrose content of the juice, was negatively affected by termite infestation ($F_{[1;79]}= 13.90$, $p<0.001$). There was a reduction of 0.04558 tonnes of expected sugar per hectare related to an increase of 1% in termite infestation. The expected sugar yield increases from early to mid and late season, albeit keeping the same decreasing trend as infestation increases (Table 1, Figure 2).

Surprisingly however, none of the response variables were related to the sugarcane varieties (Table 1). The most important result from the analysis of these variables, however, is the fact that there was no interaction between none of them and termite infestation, from which we may conclude that the effect of termites was similar for all cropping seasons and the different varieties.

Table 1: Minimum adequate models

Response variable	Explanatory variables
Cane yield	infestation + season + field
Sucrose content of the juice	season + field
Expected sugar yield	infestation + season + field

The quadratic term for infestation was not significant for cane yield ($F_{[1;78]}=1.27$, $p=0.27$) neither for expected sugar yield ($F_{[1;78]}=2.02$, $p=0.16$) and was not tested for sucrose content of the juice once infestation did not affect that variable. Thus, the relation between termite infestation and the productivity parameters cane yield and expected sugar was linear, indicating a direct relationship between termites presence in the field and yield loss.

The independent survey performed throughout the experimental fields found termites belonging to 21 genera, being 6 of them traditionally reported as sugarcane pest by the revision work of Constantino (2002) (Table 2).

Based on the value obtained for loss of cane yield related to termite infestation, Economic Injury levels were calculated for termites in sugarcane (Figure 3).

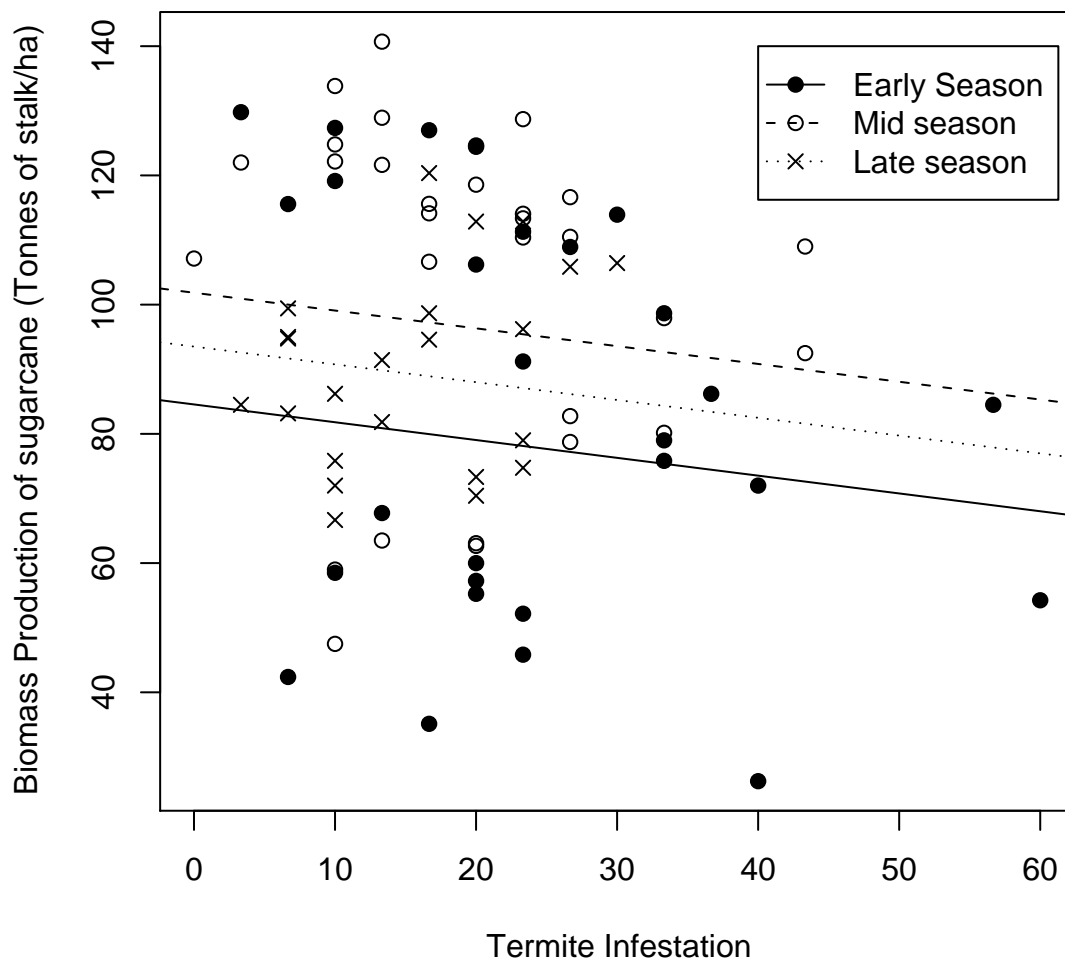


Figure 1: Cane yield (tons of stalk/ha) of sugarcane under natural termite infestations. For simplification of the graph, we considered the intercept values as the mean for the blocks. (Cane yield = $84.5544 - 0.2755 * \text{Infestation} + 8.9564 * \text{Season late} + 17.2871 * \text{Season mid}$)

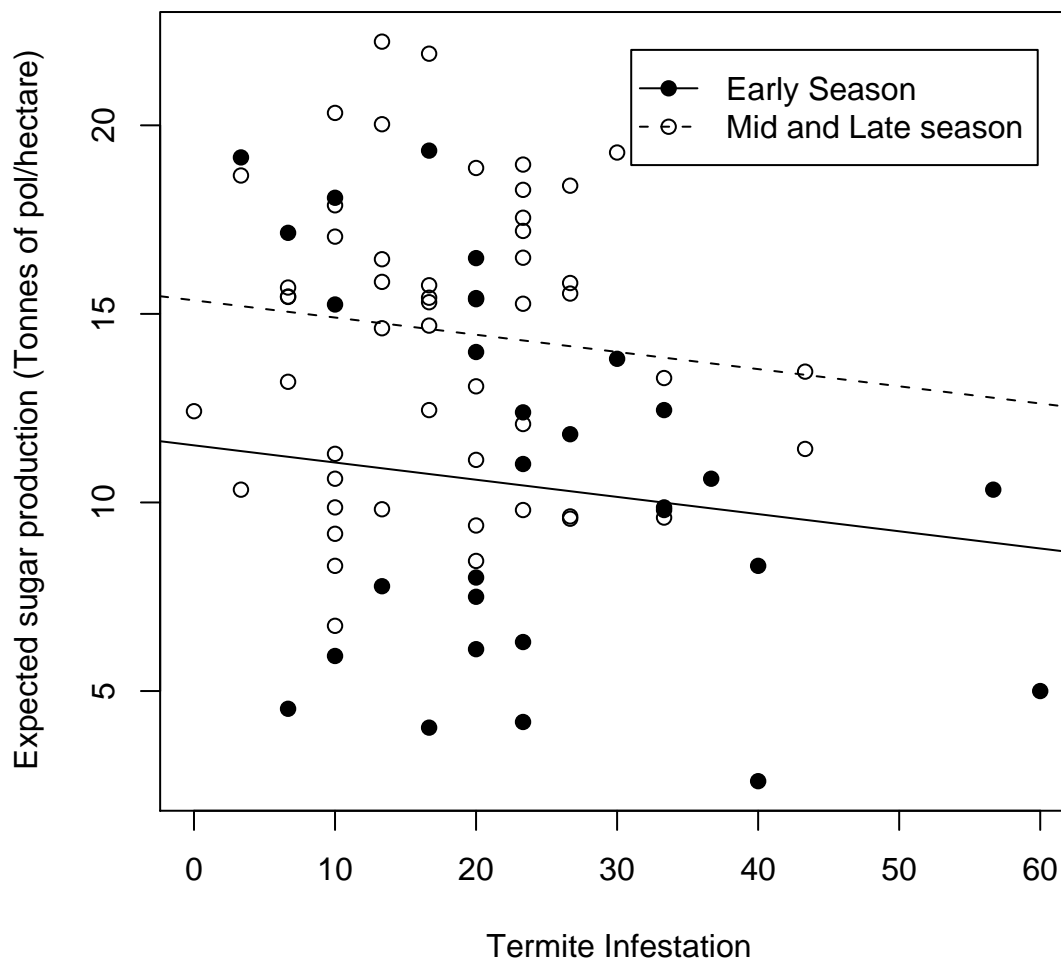


Figure 2: Expected sugar yield (tons of pol/ha) of sugarcane under natural termite infestations. For simplification of the graph, we considered the intercept values as the mean for the blocks. (Expected sugar yield = $11.51468 - 0.04558 * \text{Infestation} + 3.84444 * \text{Season Mid and Late}$)

Table 2: Termite genera sampled in sugarcane fields in a complementary survey in the study area (Urucania, Minas Gerais, Brazil). Samples were taken from 1994 to 1996 covering an area of 1100 ha. Information on current pest status are based on Constantino (2002). n=211 samples

Termite genera	% samples	Sugarcane Pest	Damage to other crops
<i>Grigiotermes</i>	18.0	no	yes
<i>Embiratermes</i>	10.9	no	no
<i>Procornitermes</i>	9.5	yes	yes
<i>Neocapritermes</i>	9.0	yes	no
<i>Anoplotermes</i>	8.0	no	yes
<i>Dihoplotermes</i>	8.0	no	no
<i>Termes</i>	6.6	yes	yes
<i>Velocitermes</i>	4.3	no	yes
<i>Labiatermes</i>	3.8	no	no
<i>Paracornitermes</i>	3.3	no	no
<i>Syntermes</i>	3.3	yes	yes
<i>Nasutitermes</i>	2.8	yes	yes
<i>Cornitermes</i>	2.4	yes	yes
<i>Armitermes</i>	1.9	no	yes
<i>Orthognatotermes</i>	1.9	no	no
<i>Diversitermes</i>	1.4	no	no
<i>Parvitermes</i>	1.4	no	no
<i>Speculitermes</i>	1.4	no	no
<i>Cyranotermes</i>	0.5	no	no
<i>Subulitermes</i>	0.5	no	yes
<i>Tetimatermes</i>	0.5	no	no

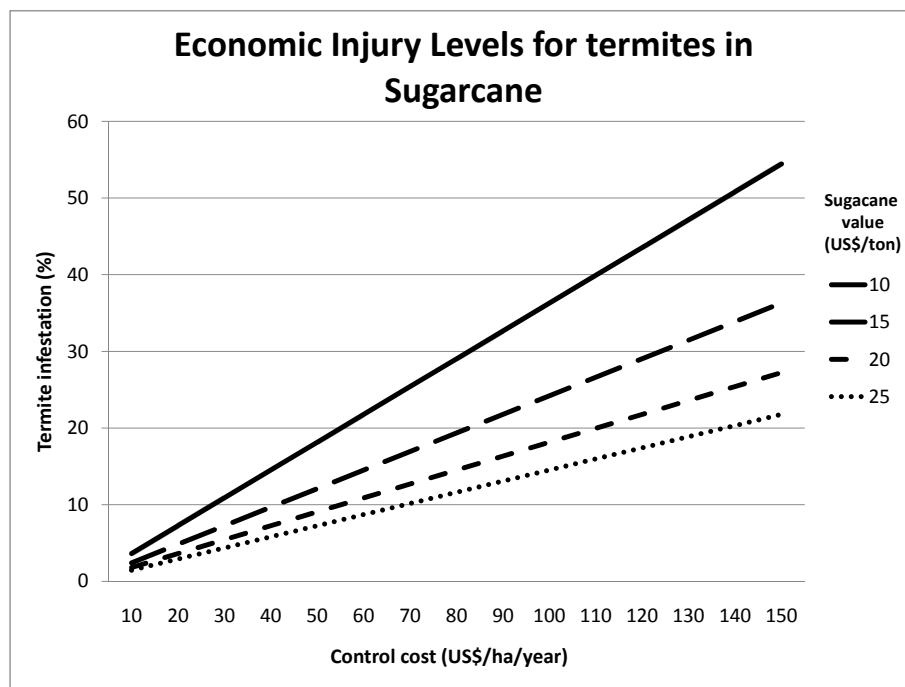


Figure 3: Economic Injury Level calculated for termites in sugarcane; $EIL = C / V * 0.2755$, where C is cost of management (US\$/ha), V is market value of sugarcane (US\$/ton) and 0.2755 is the cane yield loss caused by 1% of termite infestation (Ton/ha). The more expansive the control is, higher is the termite infestation tolerable without economic losses. Control costs between US\$ 15 and 30 represents present annual value of control based on a single insecticide application at the first year of the crop. Higher values takes in consideration the possibility of adopting extra control measures.

2.5 Discussion

2.5.1 Expected sugar productivity

As can be seen by our results, termites do affect sugar yield of sugarcane (Fig.1). The reduction in expected sugar yield is of 0.04558 tons/ha per year for increases of 1% of termite infestation. The reduction in sugar yield could be due mainly to a reduction in the amount of cane yield of the plants or due to a reduction in the sucrose content of the juice. We found that termites affected cane yield but they do not affect its sucrose content. In fact, in a study to test the efficiency of insecticides, Almeida et al. (2003) found a similar result; the application of certain insecticides aiming a reduction of termite infestation increased the cane yield, but did not change its sucrose content.

2.5.2 Cane yield

Our results support previous ones with respect to the negative effect of termites in sugarcane stalk productivity (Novaretti, 1985; Novaretti & Carderán, 1988; Novaretti & Fontes, 1998). However, as it can be seen in Fig.1, yield loss is linearly correlated to termite infestations, so different degrees of infestations would produce a proportional decrease in productivity. The value widely cited on literature for the damage caused by termites on sugarcane (Albuquerque et al., 2005; Miranda et al., 2004; Almeida et al., 2003) of 10 tons/ha per year, would correspond, in the present study, for approximately 35% of the area infested by termites, as we found that increases in 1% of termite infestations are related to losses of 0,2755 tons/ha per year. In fact, this damage value of 10 tons/ha per year attributed to termites by (Arrigoni, 1992) *apud* (Fernandes et al., 1995) corresponds to a mean calculated from discrepant values varying between 3,5 to 19,7 tons/ha/year. Such a range reinforces our result that termites may cause varying damage on sugarcane. Thus, the quantification made in this study is very important for management purposes, since it considers the fact that different infestations will be found in different areas and allow to calculate the loss caused by any level of termite infestation.

Termites may cause losses in cane yield in their three forms of attack to sugarcane; when tunnelling inside the adult plant, when destroying the setts and when attacking recently harvested plants. The more direct form is the attack to the adult plants as in this case, the harvestable tissues of the plant, the stalk, are consumed, which may reduce the total weight of the plant at harvest. In the two

other forms of attack, termites usually kill the shoots, what may cause reduction in the total weight of stalks per hectare reducing the productivity for that and also for subsequent ratoons. In addition, termites may reduce stalk productivity by eating the plant roots. This has never been reported for sugarcane, but it has been cited as a way in which termites cause losses in rice (Ferreira & Barrigossi, 2006) and corn (Sileshi et al., 2005) production. Our study, however, does not allow to identify in which of those ways termites effectively reduce sugarcane stalk productivity.

The physical impact of an insect to a plant (injury) does not necessarily mean yield loss, and some plants may tolerate injury without yield losses (compensation), or may even increase yield under small levels of injury (overcompensation) (Agrawal, 2000; Pedigo et al., 1986). However, the linear decrease in cane yield per hectare for increasing infestation levels found in the present work leads us to assume that in this case the plant was not able to compensate the injury, even under low levels of infestation.

2.5.3 Sucrose content of sugarcane

Two ways in which insects may reduce sucrose content of sugarcane are: i) they may affect photosynthesis and consequently sucrose production or ii) they may increase the production of defense metabolites such as phenols, deviating energy and carbon from the pathways of sucrose production (Silva et al., 2005; Madaleno et al., 2008). It is thus surprising that termites do not affect that parameter, which may indicate that the injury they cause do not affect photosynthesis or that they do not induce the production of defense products in the plant in amount high enough to reduce sucrose production.

A possible cause for the fact that termites did not affect sugarcane sucrose content is the ability plants have to compensate for low levels of damage previously discussed. Although sugarcane seems not to be able to compensate for the lost in its cane yield, the response for sucrose content may be different, and the plant could only present reduction in sucrose content for high levels of infestation (above the ones found in this work). Dinardo-Miranda et al. (2008) report that although large infestations of Hemiptera can cause reduction in sugar content of sugarcane, that effect was not noticeable in areas with lower infestations. The authors suggested that the plant is able to compensate in sugar production for minor attack, so we don't see any effect. In our work, the levels of infestations ranged between 0 and 60%, being possible the existence of some degree of compensation of the plant for the infestation

levels found being possible that infestations above that levels could reduce the sugar content of the plants.

2.5.4 Economical analysis

The current recommendation for termite control is to apply the insecticide on the setts only when planting the sugarcane plant (Garcia et al., 2005). As sugarcane is cultivated for a mean of five years before replanting it, the cost of control of termites is low, despite the high prices of the insecticides used, because the insecticide is applied only once during five years. However, considering that the insecticide may not be effective during the whole period of the crop, termite infestation may increase, reaching levels of economic damage. What our study shows, is that given the low price of control and the high level of damage related to termite presence in the field, even in a case of low sugarcane prices, higher investments in termite control are economically suitable and could increase sugarcane productivity. For example, investments in the order of US\$ 150,00 per hectare, value nowadays spent during the complete cycle of sugarcane (five years) would be economically suitable in a single year for infestation level of 20%, if sugarcane values are around 25 US\$/ton (Figure 3).

Two variables that could be added to our equation for EIL determination are the amount of damage avoided by the control procedure and its Environmental cost. The amount of damage avoided by the control procedure (K), is the proportion of total damage avoided by the application of the management procedure at the right time (Pedigo & Rice, 2006). The exact value of K is not known for the control of termites in sugarcane and has to be determined. However, due to the cryptic habits of these insects, it is highly improbable that the insecticide application will avoid all damage ($K=1$). The K value is inversely proportional to the EIL value once a less effective management tactic will demand a higher infestation of the pest to justify its cost. Thus, a probable lower value of K for termite control in sugarcane will cause a raise in the EIL value. Besides that, even considering a low K value of 50%, termite infestations of 30% would economically justify costs on control of 60 US\$ per hectare per year, for a market value of sugarcane of 15 US\$, value nowadays spent during two years (Figure 4).

The Environmental Cost was suggested in order to account for the environmental effects of a given management procedure (Pedigo & Rice, 2006). When this value is added to the management cost, the value of EIL is raised, leading to a

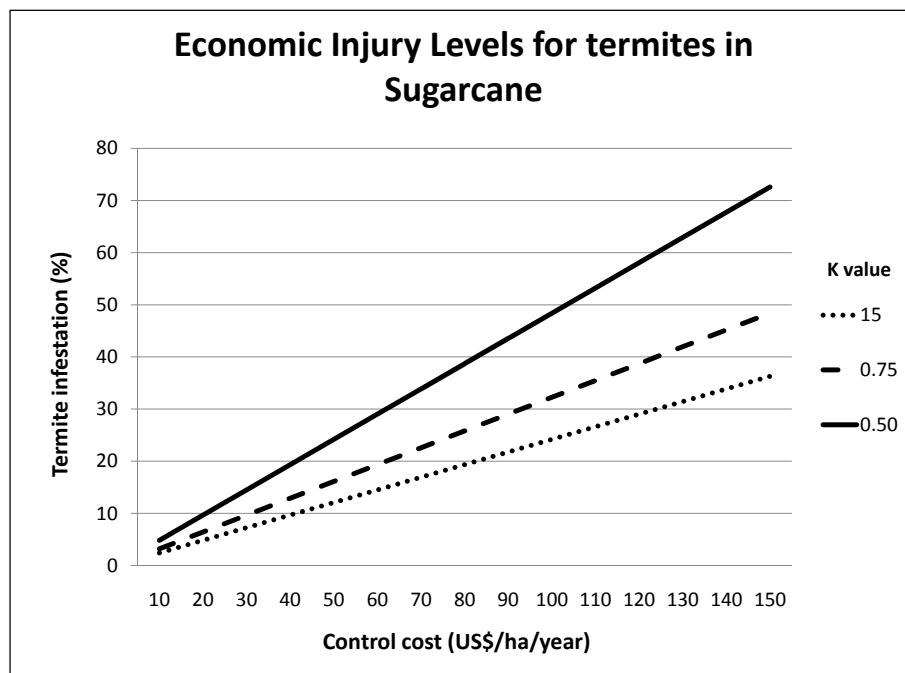


Figure 4: Economic Injury Level calculated for termites in sugarcane; $EIL = C / V * 0.2755 * K$, where C is cost of management (US\$/ha), V is market value of sugarcane (US\$/ton), 0.2755 is the yield loss caused by 1% of termite infestation (Ton/ha) and K is the proportional amount of total damage avoided by the control procedure. For this graph we used a fixed value for V equal to US\$ 15,00. It can be seen that as K decreases, the EIL increases.

higher infestation being necessary to economically justify its control. In the present work we found that the damage caused by termites in sugarcane justifies more control to reduce losses. However, if those higher investments are all done in more pesticide use, the environmental cost will rise, which is not desirable. Different management tactics can be used to reduce the Environmental Cost that consist in manipulating the EIL variables like the Damage per Pest and the K value (Pedigo & Rice, 2006).

The variable b (losses per insect) (Equation 1) used in the present study comes from the Degree of Injury per Insect - in our case per infestation unit (I) and the Damage per Unit Injury (D); although the Degree of Injury per insect is difficult to be changed, the Damage per Unit Injury is easier to manipulate. Plant varieties that are less sensitive to animal injury will reduce the Damage per Unit Injury increasing the EIL, what will result in less insecticide application (Pedigo &

Rice, 2006). In our study we found no differences in the response of the varieties tested to termite infestation and we haven't found in the literature any reference to the selection of sugarcane varieties resistant to termites. Another important benefit from this approach is that the plant resistant variety will positively affect the yield without necessarily kill the termites, especially the ones the have positive effects on the soil and are not harmful to the sugarcane. We recommend that research should be done in this way.

The manipulation of the K value is based on the idea that avoiding significant damage is more important than killing insects. The best K value is not necessarily one (total reduction of damage caused by the pest), but a value for which the efficiency of the method in terms of yield production is virtually equal to that of a K equal to one using the lowest pesticide rate possible (Pedigo & Rice, 2006). In this way, although it would be interesting to know the K value for termites in sugarcane to have a more accurate EIL, it doesn't have to be equal to one.

As we said before, we found that higher investments in termite control are economically suitable and could increase sugarcane productivity, however, especially considering the environment, we do not recommend this investment to be done on insecticides, but in researches to produce resistant varieties or other strategies to minimize termites such as cultivation techniques for example.

2.5.5 Termite genera

The values found in the present study may change, however, according to the species present in a given area. Not all termite cause damage to plants and, in fact, only 10 % of termite species are considered agronomic pests. Several termite species eat dead parts of the plants and others eat soil organic matter. Those termites may even have a positive effect upon plants, since they promote increase in soil porosity leading to better water infiltration and better root growth (Mando, 1997). Termites also incorporate organic matter to the soil, enriching it (Lee & Wood, 1971). In fact, Cadet et al. (2004) relates exceptional growth and reports a five times greater yield of sugarcane growing on termitaria than elsewhere along the studied transect.

For the samples of the complementary data on termite (Table 2), 66.3% of the genera have already been reported as agricultural pest (minor or major) for at least one crop. Of these, only 33.6% corresponded to the genera reported as sugarcane pests. Thus, the damage is high even with that low percentage of termites

considered pests of sugarcane. This may even be considered an evidence that some of the other species, not currently considered pests of sugarcane may be responsible for a considerable damage to the culture, what deserves further investigation. It is important to remember, however, that given the lack of experiments done specifically to determine damage level by termites, species not considered pest may be responsible for a considerable amount of damage in the crop. We would also like to highlight the fact that *Heterotermes*, which is considered one of the most important pests for the crop in Brazil, was not found in the area, suggesting that in areas with that species the damage can be greater than the one found here.

2.5.6 Concluding remarks

This study demonstrates a significant relationship between natural termite infestation in sugarcane and reduction in yield. Termites cause measurable damage to ratoon sugarcane by reducing the expected sugar yield as termite infestations increase. They do so by reducing the cane yield (tons of stalk) produced per hectare but they do not affect the sucrose content of the juice.

Our study shows that given the dilution of the price of termite control over the period of the crop and the high level of damage related to termite presence in the field, higher investments in termite control are economically suitable and could increase sugarcane productivity. Methods of termite control that are environmentally safe and economically viable must be pursued in order to increase sugarcane productivity.

3 CONCLUSÕES GERAIS

Este estudo demonstra que cupins causam um dano mensurável à cana-de-açúcar ao reduzirem a quantidade total de açúcar produzida por hectare à medida que o grau de infestação aumenta. Eles promovem esta queda na produção de açúcar ao reduzirem a biomassa produzida pela planta, entretanto, eles não afetaram a produção de sacarose no caldo.

Este estudo mostra que devido à diluição do valor do custo de controle dos cupins ao longo dos anos do cultivo da cana-de-açúcar e ao alto nível de dano provocado pelos cupins na cultura, maiores investimentos em controle de cupins em cana são economicamente viáveis e poderiam aumentar a sua produtividade. Métodos de controle de cupins que sejam ambientalmente seguros e viáveis economicamente devem ser buscados para aumentar a produtividade da cana-de-açúcar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRAWAL, A. A. Overcompensation of plants in response to herbivory and the by-product benefits of mutualism. **Trends in plant science**, v.5, p.309–13, 2000.
- ALBUQUERQUE, A. C.; PEREIRA, K. C. A.; CUNHA, F. M.; VEIGA, A.; ATHAYDE, A. C. R.; LIMA, E. Pathogenicity of *Metarhizium anisopliae* var. *anisopliae* and *Metarhizium anisopliae* var. *acidum* on *Nasutitermes coxipoensis* (Holmgren)(Isoptera: Termitidae). **Neotropical Entomology**, v.34, p.585–591, 2005.
- ALMEIDA, J. E. M.; FILHO, A. B.; ALVES, S. B.; SHITARA, T. Avaliação de Inseticidas e Fungos Entomopatogênicos para o Controle de Cupins Subterrâneos da Cana-de-açúcar. **Arq. Inst. Biol., São Paulo**, v.70, p.347–353, 2003.
- ARRIGONI, E. Relatório de pesquisas desenvolvidas na Copersucar., 1992.
- BLACK, H.; OKWAKOL, M. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the tropics the role of termites. **Applied Soil Ecology**, v.6, p.37–53, 1997.
- BRASIL. Balanço nacional de cana-de-açúcar e agroenergia, 2007.
- CADET, P.; GUICHAOUA, L.; SPAULL, V. W. Nematodes, bacterial activity, soil characteristics and plant growth associated with termitaria in a sugarcane field in South Africa. **Applied Soil Ecology**, v.25, p.193–206, 2004.
- CALDERON, R.; CONSTANTINO, R. A survey of the termite fauna (Isoptera) of an eucalypt plantation in central Brazil. **Neotropical Entomology**, v.36, n.3, p.391–395, 2007.
- CONSECANA. **Normas operacionais da determinação da qualidade da cana-de-açúcar**. Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo, São Paulo, Brazil, 2006.

- CONSTANTINO, R. The pest termites of South America: taxonomy, distribution and status. **Journal Of Applied Entomology-Zeitschrift Fur Angewandte Entomologie**, v.126, n.7-8, p.355–365, 2002.
- CRAWLEY, M. **Statistical Computing: an introduction to data analysis using s-plus**. Oxford: Wiley, 2002.
- DINARDO-MIRANDA, L. Mais atenção. **Cultivar - Grandes culturas**, v.80, p.3–10, 2005.
- DINARDO-MIRANDA, L.; PIVETA, J.; FRACASSO, J. Economic injury level for sugarcane caused by the spittlebug *Mahanarva fimbriolata* (Stal)(Hemiptera: Cercopidae). **Scientia agricola.**, v.65, p.16–24, 2008.
- DONOVAN, S. E.; EGGLETON, P.; BIGNELL, D. E. Gut content analysis and a new feeding group classification of termites. **Ecological Entomology**, v.26, n.4, p.356–366, 2001.
- FALCO, M.; MARBACH, P.; POMPERMAYER, P.; F.C.C., L.; M.C., S.-F. Mechanisms of sugarcane response to herbivory. **Genetics and Molecular Biology**, v.24, p.113–122, 2001.
- FERNANDES, A. **Manual da Cana-de-Açúcar**. Piracicaba: Livroceres, 1990.
- FERNANDES, P.; RIBEIRO, L.; OLIVEIRA, P. F. M. Manejo integrado de cupins associados à cana-de-açúcar, em Goiás. **Alcool e Açúcar**, v.78, p.36–37, 1995.
- FERREIRA, E.; BARRIGOSI, J. Insetos orizívoros da parte subterrânea, 2006.
- GARCIA, J. C.; MACEDO, L. P. M.; BOTELHO, P. S. M. Pequenos destruidores. **Cultivar**, v.72, p.26–29, 2005.
- HARRIS, W. **Termites - Their recognition and control**. , 1971. 185p.
- HARRIS, W. V. . In: **Termites as Pests of Sugar Cane**. Amsterdam: Elsevier, 1969. p.225-235.
- JAMES, G. L. **Sugarcane**. Blackwell Publishing, 2004.
- JI, R.; BRUNE, A. Transformation and mineralization of C-14-labeled cellulose, peptidoglycan, and protein by the soil-feeding termite *Cubitermes orthognathus*. **Biology and fertility of soils**, v.33, n.2, p.166–174, 2001.

- JI, R.; BRUNE, A. Digestion of peptidic residues in humic substances by an alkali-stable and humic-acid-tolerant proteolytic activity in the gut of soil-feeding termites. **Soil Biology & Biochemistry**, v.37, n.9, p.1648–1655, 2005.
- JI, R.; KAPPLER, A.; BRUNE, A. Transformation and mineralization of synthetic C-14-labeled humic model compounds by soil-feeding termites. **Soil Biology & Biochemistry**, v.32, n.8-9, p.1281–1291, 2000.
- KONATÉ, S.; LE ROUX, X.; TESSIER, D.; LEPAGE, M. Influence of large termitaria on soil characteristics, soil water regime, and tree leaf shedding pattern in a West African savanna. **Plant and Soil**, v.206, n.1, p.47–60, 1999.
- LEE, K.; WOOD, T. **Termites and Soils**. London: Academic Press, 1971.
- LONG, W. H.; HENSLEY, S. D. Insect Pests of Sugar Cane. **Annual Review of Entomology**, v.17, p.149–176, 1972.
- MACEDO, N.; BOTELHO, P.; CAMPOS, M. Cupins em cana-de-açúcar, quando e como controlar? **Alcool e Açúcar**, v.78, p.32–36, 1995.
- MADALENO, L.; RAVANELI, G.; PRESOTTI, L.; MUTTON, M.; FERNANDES, O.; MUTTON, M. Influence of Mahanarva fimbriolata (Stal) (Hemiptera: Cercopidae) injury on the quality of cane juice. **Neotropical Entomology**, v.37, p.68–73, 2008.
- MANDO, A. Effect of termites and mulch on the physical rehabilitation of structurally crusted soils in the Sahel. **Land Degradation and Development**, v.8, p.269–278, 1997.
- In: METCALF, R. L.; LUCKMANN, W. H. (Ed.). **Introduction to insect pest management**. 3. ed. Wiley Interscience, 1994. 650p.
- MIRANDA, C. S.; VASCONCELLOS, A.; BANDEIRA, A. G. Termites in sugar cane in Northeast Brazil: ecological aspects and pest status. **Neotropical Entomology**, v.33, p.237–241, 2004.
- NDIAYE, D.; LENSI, R.; LEPAGE, M.; BRAUMAN, A. The effect of the soil-feeding termite *Cubitermes niokoloensis* on soil microbial activity in a semi-arid savanna in West Africa. **Plant and Soil**, v.259, n.1-2, p.277–286, 2004.

- NOVARETTI, W. R. T. Controle de cupins em cana-de-açúcar através do emprego de inseticidas de solo. **Boletim Técnico Copersucar**, v.33, p.39–44, 1985.
- NOVARETTI, W. R. T.; CARDERÁN, J. O. Controle químico de cupins em cana-de-açúcar. **Anais do III Seminário de Tecnologia Agronômica**, p.111–114, 1988.
- NOVARETTI, W. R. T.; CARDERAN, J. O.; CARPANEZZI, A. Influência do cultivo químico de soqueiras no controle das principais pragas da Cana-de-açúcar. **STAB**, p.7–11, 1991.
- NOVARETTI, W. R. T.; CASAGRANDE, D. V.; BORTOLIN, J. R. Recomendação para o Controle de Cupins na Cultura da Cana-de-açúcar. **STAB**, v.8, p.17–23, 1990.
- NOVARETTI, W. R. T.; FONTES, L. R. . In: **Cupins: uma grave ameaça à cana-de-açúcar no nordeste brasileiro**. Piracicaba: FEALQ, 1998. p.
- NUTTING, W.; HAVERTY, M.; LA FAGE, J. Physical and chemical alteration of soil by two subterranean termite species in Sonoran desert grassland. **Journal of Arid Environments**, v.12, n.3, p.233–239, 1987.
- PARANHOS, S. B. . In: **Cupins (Isoptera, Termitidae) e outras pragas do solo**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.
- PEDIGO, L. P. **Entomology and pest management**. 1. ed. Macmillan Publishing Company, 1959. 646p.
- PEDIGO, L. P.; HUTCHINS, S. H.; HIGLEY, L. G. Economic Injury Levels in Theory and Practice. **Annual Review of Entomology**, v.31, p.341–368, 1986.
- PEDIGO, L. P.; RICE, M. E. **Entomology and pest management**. 5. ed. Pearson Education, 2006. 749p.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2006. ISBN 3-900051-07-0.
- SILESHI, G.; MAFONGOYA, P. L.; KWESIGA, F.; NKUNIKA, P. Termite damage to maize grown in agroforestry systems, traditional fallows and monoculture on

nitrogen-limited soils in eastern Zambia. **Agricultural and Forest Entomology**, v.7, n.1, p.61–69, 2005.

SILVA, R. J. N.; GUIMARAES, E. R.; GARCIA, J. F.; BOTELHO, P. S. M.; FERRO, M. I. T.; MUTTON, M. A.; MUTTON, M. J. R. Infestation of froghopper nymphs changes the amounts of total phenolics in sugarcane. **Scientia Agricola**, v.62, p.543–546, 2005.

VICENTE, E.; FERNANDES, V. Mensuração dos custos de produção de cana-de-açúcar para médios produtores, 2004.

WATT, M.; SILK, W.; PASSIOURA, J. Rates of Root and Organism Growth, Soil Conditions, and Temporal and Spatial Development of the Rhizosphere. **Annals of Botany**, v.97, p.839–855, 2006.