

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

ALINE NAMIE SUZUKI
Engenheira Agrônoma

**TAMANHO IDEAL DE PARCELAS PARA AVALIAÇÃO DA
INTENSIDADE DE INFESTAÇÃO POR BROCA DA CANA-DE-
AÇÚCAR**

Ilha Solteira
2018

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA (PPGA)

ALINE NAMIE SUZUKI
Engenheira Agrônoma

**TAMANHO IDEAL DE PARCELAS PARA AVALIAÇÃO DA
INTENSIDADE DE INFESTAÇÃO POR BROCA DA CANA-DE-
AÇÚCAR**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como parte
dos requisitos para obtenção do título de Mestre.
Especialidade: Sistemas de Produção

Prof. ^a Dr. ^a Glauca Amorim Faria
Orientador

Prof. ^a Dr. ^a Ana Patrícia Bastos Peixoto
Prof. ^o Dr. ^o Enes Furlani Junior
Coorientadores

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

S968t Suzuki, Aline Namie.
Tamanho ideal de parcelas para avaliação da intensidade de infestação por broca da cana-de-açúcar / Aline Namie Suzuki. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2018
47 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de Produção, 2018

Orientador: Glaucia Amorim Faria
Coorientador: Ana Patrícia Bastos Peixoto
Coorientador: Enes Furlani Junior
Inclui bibliografia

1. *Diatraea saccharalis*. 2. Método de inspeção visual da curvatura máxima.
3. Método da máxima curvatura modificado. 4. Método platô de resposta linear. 5. Método platô de resposta quadrática.


Raiane da Silva Santos

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Tamanho de parcelas para avaliação de intensidade de infestação por *Diatraea saccharalis* em cana-de-açúcar

AUTORA: ALINE NAMIE SUZUKI

ORIENTADORA: GLAUCIA AMORIM FARIA

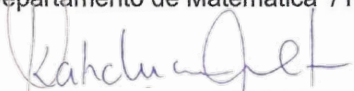
COORIENTADOR: ENES FURLANI JUNIOR

COORIENTADORA: ANA PATRICIA BASTOS PEIXOTO

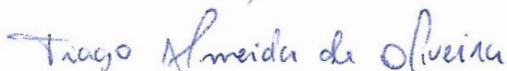
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA, área: SISTEMAS DE PRODUÇÃO pela Comissão Examinadora:



Profa. Dra. GLAUCIA AMORIM FARIA
Departamento de Matemática / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Profa. Dra. KÁTIA LUCIENE MALTONI
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Prof. Dr. TIAGO ALMEIDA DE OLIVEIRA
Departamento Estatística / Universidade Estadual da Paraíba

Ilha Solteira, 16 de fevereiro de 2018

DEDICO

Às minhas mães, Olivia Suzuki, por todo apoio durante meus anos de estudo, e Marta Satiko Suzuki, pela dedicação, amor e educação.

Ao meu pai (*in memoria*), Tatsutoshi Suzuki, que com toda sua simplicidade suscitou em mim o amor pela ciência.

AGRADECIMENTOS

À minha família pelo amor, apoio e paciência inesgotáveis.

A todos aqueles que trabalham diariamente no campo e que, sem eles, não seria possível a obtenção dos dados para este estudo.

À minha orientadora, Prof. ^a Dr. ^a Gláucia Amorim Faria, que abriu as portas para uma nova área de conhecimento, pela parceria e amizade em todos os momentos.

A co-orientadora, Prof. ^a Dr. ^a Ana Patrícia Bastos Peixoto, pela paciência na reta final de conclusão do trabalho.

À Prof. ^a Dr. ^a Katia Luciene Maltoni e ao Prof. ^o Dr. ^o Antônio Flávio Arruda Ferreira pela rica contribuição aos meus estudos.

Aos membros do Laboratório de Estatística Aplicada – LEA, principalmente Beatriz Garcia Lopes, pelo suporte em todas as pesquisas em laboratório e campo.

Aos meus colegas de pós-graduação que, de alguma forma, contribuíram para minha evolução nesta jornada.

Ao Prof. Dr. Enes Furlani Júnior, por todas as oportunidades que me ofereceu.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES.

A Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – FEIS, pertencente à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – PPGA.

“Loucura é querer resultados diferentes fazendo tudo exatamente igual.” - Albert Einstein

RESUMO

Considerando que a intensidade de infestação (I.I.%) é um importante dado sobre o dano causado pela *Diatraea saccharalis* em cana-de-açúcar e que existem poucos trabalhos na literatura relacionados ao tamanho de ótimo de parcela para este tipo de amostragem, o objetivo deste trabalho foi estimar o tamanho ótimo de parcela em hectares e número de colmos que deverá ser utilizado no processo de amostragem de modo que represente a intensidade de infestação causada pelo ataque da *D. saccharalis* em cana-de-açúcar. Para os cálculos relativos ao tamanho da área a ser amostrada foram utilizados quatro métodos para o cálculo do tamanho de parcela: método de inspeção visual da curvatura máxima, método da máxima curvatura modificado, modelo linear segmentado com platô e modelo quadrático segmentado com platô. Para os cálculos referentes ao número de entrenós foi utilizado o método da estimativa da suficiência amostral. O método da máxima curvatura modificado foi o que proporcionou melhores resultados. De acordo com os resultados encontrados neste trabalho, podemos concluir que o número mínimo a ser amostrado é o de 36 entrenós por hectare e a área máxima a ser amostrada é a de 27,5 hectares.

Palavras-chave: *Diatraea saccharalis*. Método de inspeção visual da curvatura máxima. Método da máxima curvatura modificado. Método platô de resposta linear. Método platô de resposta quadrática.

ABSTRACT

Infestation intensity (II%) is an important data on the damage caused by *Diatraea saccharalis* in sugarcane. There are few studies in the literature related to the optimal plot size for this type of sampling. The objective of this work is to estimate the optimal plot size in hectares and number of stems to be used in the sampling process to represent the intensity of infestation caused by *D. saccharalis* attack on sugarcane. For the calculation of the size of the minimum sampled area, four methods were used: 1. visual inspection method of maximum curvature; 2. modified maximum curvature method; 3. segmented linear model with plateau and; 4. quadratic segmented model with plateau. For the calculations referring to the number of internodes, the method of estimating the sample adequacy was used. The modified maximum curvature method presented the best results. According this study, the minimum number to be sampled is 36 trains per hectare and the maximum area to be sampled is 27.5 hectares.

Keywords: *Diatraea saccharalis*. Method of visual inspection of maximum curvature. modified maximum curvature method. Linear response plateau method. Plateau method of quadratic response.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Produção mundial de cana-de-açúcar, em toneladas, referente ao ano de 2016.....	13
Figura 2 -	Rizoma (A) e colmo de cana-de-açúcar (B).....	15
Figura 3 -	Fenologia da cana-de-açúcar.....	16
Figura 4 -	Broca da cana-de-açúcar (<i>D. saccharalis</i>): (A) ovos da mariposa da broca, (B) lagartas recém eclodidas raspando a região próxima ao nó da cana, (C) lagarta da broca dentro da galeria no colmo da cana-de-açúcar, (D) pupa da broca e (E) mariposa da broca, forma adulta da praga.....	17
Figura 5 -	Colmos com danos diretos (galerias) e indiretos (podridão-vermelha) do ataque da broca da cana-de-açúcar.....	19
Figura 6 -	Amostragem da intensidade de infestação (I.I.%): (A) eito de colheita de cana-de-açúcar e (B) amostragem da I.I.% sendo realizada no momento da colheita.....	23
Figura 7 -	Relação entre o coeficiente de variação CV (%) e tamanho de parcela (X_c) para intensidade de infestação (I.I.%) considerando as classes em hectare.....	31
Figura 8 -	Relação entre o coeficiente de variação CV(%) e tamanho de parcela (X_c) para I.I.% considerando as classes em hectare.....	33
Figura 9 -	Relação entre o coeficiente de variação CV(%) e tamanho de parcela (X_c) para I.I.% considerando classes em hectare.....	34
Figura 10 -	Relação entre o coeficiente de variação CV(%) e tamanho de parcela (X_c) para I.I.% considerando o número médio de colmos por hectare e o número de classes.....	36

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Classificação dos tamanhos de parcela por área em hectare, média de entrenós por parcela (TP) e número de parcelas (NP).....24
- Tabela 2 - Classificação dos tamanhos de parcela por área em hectare, média de entrenós por parcela (TP), número de parcelas (NP), média da intensidade de infestação (I.I.%) e coeficiente variação da intensidade de infestação (CV I.I.%).....29
- Tabela 3 - Estimativas dos parâmetros da relação $CV = a X^{-b}$, pelo método da inspeção visual da curvatura máxima, coeficiente de variação (CV %), valor da abscissa em que ocorre o ponto de máxima curvatura (X_c), coeficientes de determinação (R^2) para Intensidade de Infestação (I.I.).....30
- Tabela 4 - Estimativas dos parâmetros da relação $CV = a X^{-b}$, pelo método da máxima curvatura modificado, coeficiente de variação (CV), valor da abscissa em que ocorre o ponto de máxima curvatura (X_c), coeficientes de determinação (R^2) para Intensidade de Infestação (I.I.).....32
- Tabela 5 - Estimativas dos parâmetros do modelo segmentado linear com resposta em platô, do platô de resposta correspondente ao ponto de máxima curvatura (P), do valor da abscissa em que ocorre o ponto de máxima curvatura (X_c) e do coeficiente de determinação (R^2) para Intensidade de Infestação (I.I.).....34
- Tabela 6 - Estimativas dos parâmetros do modelo de regressão quadrático com resposta em platô, coeficiente de variação que estima o platô de resposta correspondente ao ponto de máxima curvatura (P), tamanho da parcela dado pelo valor da abscissa em que ocorre o ponto de máxima curvatura (X_c), e coeficientes de determinação (R^2) para a variável I.I.%.....35
- Tabela 7 - Resultados amostrais de média de entrenós por parcela (TP), número de parcelas (NP), média da intensidade de infestação (I.I.%), coeficiente de variação (CV), erro amostral (EAR) e número de parcelas representativo (NPR), nos diversos tamanhos de parcelas estudadas para o cálculo do número de entrenós.....37
- Tabela 8 - Resultados das eficiências relativas de cada tamanho de parcela (número de colmos por hectare) comparado com os demais.....39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	<i>Cana-de-açúcar</i>	13
2.1.1	<i>Aspectos econômicos da cultura</i>	13
2.1.2	<i>Aspectos gerais da cultura</i>	14
2.2	<i>Broca da cana-de-açúcar (Diatraea saccharalis)</i>	17
2.3	<i>Métodos para estimativa do tamanho de parcelas</i>	19
3	MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1	<i>Cálculo do Tamanho da área a ser amostrada</i>	24
3.1.1	<i>Método de inspeção visual da curvatura máxima</i>	25
3.1.2	<i>Método da máxima curvatura modificado</i>	25
3.1.3	<i>Modelo linear segmentado com platô</i>	26
3.1.4	<i>Modelo quadrático segmentado com platô</i>	26
3.2	<i>Cálculo do número de entrenós</i>	27
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
4.1	<i>Cálculo do Tamanho da área a ser amostrada</i>	30
4.1.1	<i>Método de inspeção visual da curvatura máxima</i>	30
4.1.2	<i>Método da máxima curvatura modificado</i>	32
4.1.3	<i>Modelo linear segmentado com platô</i>	33
4.1.4	<i>Modelo quadrático segmentado com platô</i>	35
4.2	<i>Cálculo de parcelas para número de entrenós</i>	37
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
6	CONCLUSÃO	41
	REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Sccharum spp.*) é uma cultura de grande importância no setor agroindustrial brasileiro. Na safra canavieira de 2016/17, a cultura da cana atingiu uma área cultivada de aproximadamente 9 milhões de hectares, proporcionando a produção de cerca de 39 milhões de toneladas de açúcar; 28 bilhões de litros de etanol e capacidade de geração de energia elétrica de 11 milhões de KW.

O ataque de insetos-praga é um dos fatores limitantes para a produção da cana-de-açúcar e, dentre estes insetos, a broca-da-cana (*Diatraea saccharalis*) é a espécie de maior importância, sendo amplamente distribuída pelo Brasil.

Os danos diretos do ataque desta praga são as galerias abertas no interior dos colmos que provocam a morte de perfilhos, redução da produtividade, perda de massa, redução no desenvolvimento, seca e morte da planta. Danos indiretos também ocorrem pela associação com micro-organismos (*Colletotrichum falcatum* associado ou não a *Fusarium moniliforme*) causadores da doença podridão-vermelha, resultando na inversão da sacarose e contaminação do caldo da cana-de-açúcar, causando significativas perdas agroindustriais.

A intensidade de infestação (I.I.%) é expressa em porcentagem e indica o dano causado pelo ataque da *D. saccharalis*, sendo determinada através de amostragem realizada próximo ou no momento da colheita. Estima-se que as perdas podem chegar a 1,5% na produtividade dos colmos, 0,49% na produção de açúcar e 0,28% da produção de etanol para cada 1% de I.I.%.

No setor canavieiro, não existe um protocolo definido para o tamanho da parcela para a determinação da I.I.%, bem como a coleta da amostra. Geralmente o tamanho da parcela e número de amostra varia de acordo com a empresa produtora de cana-de-açúcar, sendo dependente de recurso e mão de obra disponível.

O tamanho de parcela empregada influencia na precisão e no valor dados experimentais e existem vários métodos para calcular o tamanho ideal de uma parcela experimental. Grande parte desses métodos utiliza o coeficiente de variação (CV) como parâmetro mais utilizado, como: o método de inspeção visual da curvatura máxima, método máxima curvatura modificado, método platô de resposta linear, método platô de resposta quadrática, método de Hatheway, método de Hatheway e Williams. Outros utilizam a variância: método de Smith, método modificado de Smith e método da comparação de variâncias.

Os dados existentes na literatura relacionados ao tamanho da parcela ideal para representar a intensidade de infestação por broca na cultura da cana-de-açúcar são escassos perante a importância do resultado desta amostragem. Sendo assim, o objetivo deste estudo foi

buscar o tamanho ótimo de parcela que represente a intensidade de infestação causada pelo ataque da *D. saccharalis* em cana-de-açúcar por meio de diferentes métodos estatísticos, de modo que norteiem os pesquisadores e produtores na amostragem.

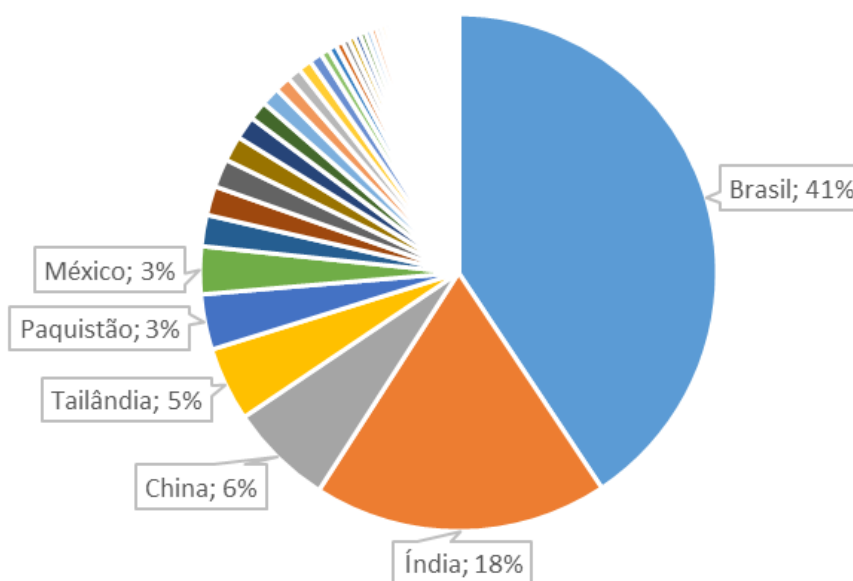
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cana-de-açúcar

2.1.1 Aspectos econômicos da cultura

Trazida para o Brasil colonial pelos portugueses, a cana-de-açúcar ainda hoje é uma das culturas de maior importância no país. De acordo com os dados da FAOSTAT (2016), o Brasil foi o maior produtor de cana-de-açúcar no mundo (Figura 1), com 768.678.382 toneladas, seguido da Índia (348.448.000 t) e China (122.663.940).

Figura 1. Produção mundial de cana-de-açúcar, em toneladas, referente ao ano de 2016.



Fonte: FAOSTAT (2016).

Segundo o Anuário da Cana, organizado pelo grupo ProCana Brasil, o setor sucroenergético do país movimentou na safra 2015/16 o valor de R\$100 Bi referentes à produção de cana, açúcar, etanol e bioeletricidade; o que representou 1,7% do PIB brasileiro; gerou 4,5 milhões de empregos diretos e indiretos; envolveu 72.000 produtores independentes de cana-de-açúcar; moeu 666 milhões de toneladas de cana; produziu 33 milhões de toneladas de açúcar e 30 milhões de litros de etanol; comercializou 22.310 GW/h de excedentes de bioeletricidade; exportou 24 milhões de toneladas de açúcar por US\$ 8 bilhões e 1,9 bilhões de litros de etanol

por US\$0,88 bilhões; recolheu R\$23 milhões em impostos e taxas; compondo-se de 406 usinas e destilarias, com uma área plantada de 10 milhões de hectares (PROCANA BRASIL, 2016).

2.1.2 Aspectos gerais da cultura

A cana-de-açúcar pertence à família Poaceae e ao gênero *Saccharum*, existindo várias espécies, sendo elas *Saccharum spontaneum*, *Saccharum robustum*, *Saccharum officinarum*, *Saccharum edule*, *Saccharum barberi* e *Saccharum sinense*. A origem da cana-de-açúcar ocorreu na pré-história e permanece obscura. Expedições para investigação realizadas por Brandes-Jeswiet em 1928, concluíram que a domesticação da *Saccharum officinarum* ocorreu em Papua Nova Guiné, na Oceania, onde foi encontrada a flora mais rica da espécie (BAKKER, 1999). As variedades de cana-de-açúcar cultivadas atualmente são híbridas do gênero *Saccharum*.

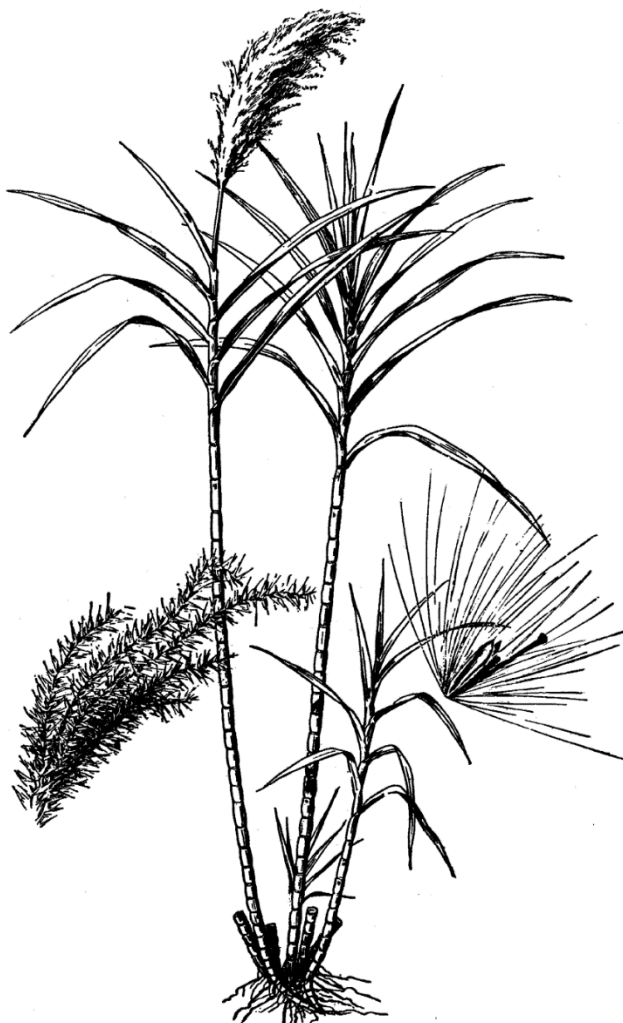
Como a maioria das plantas da família Poaceae, a cana-de-açúcar é uma planta C4, ou seja, durante o processo de fotossíntese forma compostos orgânicos com quatro carbonos. A cana apresenta alta taxa fotossintética e eficiência na utilização e resgate de dióxido de carbono (CO₂) e é adaptada à alta intensidade luminosa, altas temperaturas e relativa escassez de água (SEGATO et al., 2006).

A cana-de-açúcar se desenvolve em forma de touceiras compostas por raízes e rizomas, colmos, folhas e inflorescências (Figura 2), sendo que as sementes são formadas apenas em ambientes propícios, em outras situações são abortadas. As raízes são fasciculadas com maior concentração aos 20 a 30 cm de profundidade. Os rizomas são constituídos por nós, entrenós e gemas, das quais se originam os perfilhos nas touceitas. Os colmos são caracterizados por nós e entrenós bem definidos e são responsáveis pela sustentação das folhas, as quais são ligadas ao colmo na região nodal. Os colmos podem ser eretos, semi-erectos ou decumbentes, dependendo da idade e variedade da cultivada (SEGATO et al., 2006).

O perfilhamento, juntamente com a boa brotação e sistema radicular ativo, é o que garante o número de colmos por touceira necessários para uma boa produtividade (BAKKER, 1999). O final da fase de perfilhamento se dá quando a competição dos perfilhos pelos fatores de crescimento (luz, espaço, água e nutrientes) se acentua, levando à redução e paralisação deste processo, além da morte de perfilhos. Neste ponto é onde ocorre o perfilhamento máximo da cultura, chegando algumas variedades produzir 25 colmos ou mais por touceira (SEGATO et al., 2006). O crescimento em altura continua até a limitação hídrica, de baixas temperaturas ou,

ainda, devido ao florescimento, dependendo da responsividade de cada variedade às diferentes condições ambientais.

Figura 2. Cana-de-açúcar (*Sccharum* spp.)

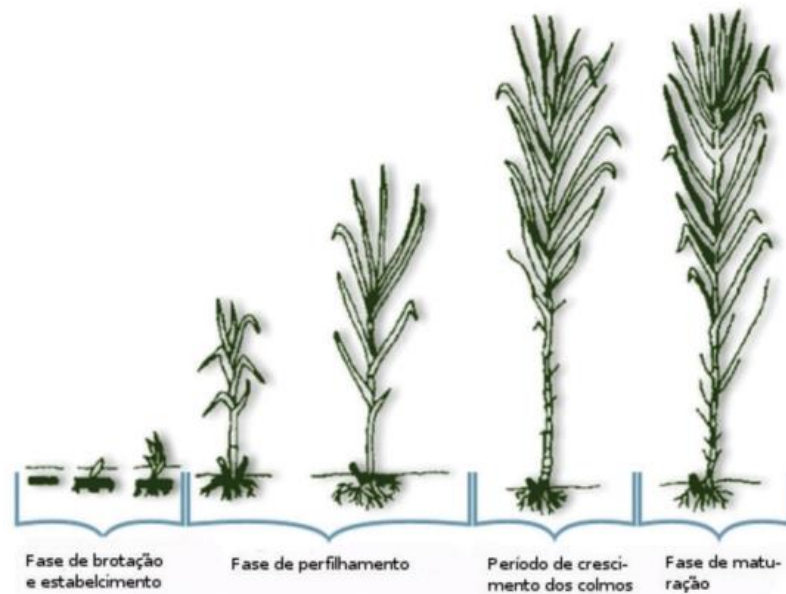


Fonte: Hitchcock (1950).

O ciclo fenológico total da cana-de-açúcar pode ter duração de 11 a 22 meses, sendo dividido em quatro estágios (Figura 3): (1) brotação e estabelecimento: duração de 20 a 30 dias para emissão das primeiras brotações e dependente da umidade do solo; (2) perfilhamento: início aos 40 dias após o plantio, podendo chegar até os 120 dias após o corte; (3) crescimento dos colmos: início a partir dos 120 após o plantio (ou corte) e prolongando por até 270 dias, em um cultivo de 12 meses, sendo o estágio mais importante do cultivo devido ao acúmulo da matéria seca (75% da matéria seca total); e a (4) maturação dos colmos: período de 270 a 360 dias após o plantio, podendo se prolongar por até 6 meses, dependendo da variedade e cultivo,

nesta fase ocorrem reduções nas taxas de crescimento da planta e aumento no acúmulo de sacarose nos colmos (DIOLA, SANTOS, 2010).

Figura 3. Fenologia da cana-de-açúcar.



Fonte: Gascho e Shih (1993).

A colheita da cana-de-açúcar normalmente é realizada quando a planta atinge sua máxima maturação, ou próximo a ela, com o objetivo de garantir maior quantidade de açúcar (Pol) por tonelada de cana por hectare (TCH). A colheita pode ser realizada de duas maneiras: (1) manual, com uso de podão para o corte de cana e carregamento manual; (2) semi-mecanizado, corte manual e carregamento mecanizado; (3) mecanizado, corte e carregamento mecanizado.

A partir do século XXI, houve uma grande mudança no perfil do setor canavieiro. O aumento da produção para atender a nova demanda por etanol advinda dos automóveis *flex-fuel* e a expectativa de exportação a países demandantes de produtos com baixo impacto ambiental, proporcionaram que produtores e Secretaria do Meio Ambiente do estado de São Paulo assinassem em 2007, o Protocolo Agroambiental, acordo que antecipou os prazos para o término gradual da queima da cana no estado. Os incentivos de redução de custos para compra de maquinário agrícola e financiamentos do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) aumentaram a adesão a esse protocolo (SAIANI; PEROSA, 2016).

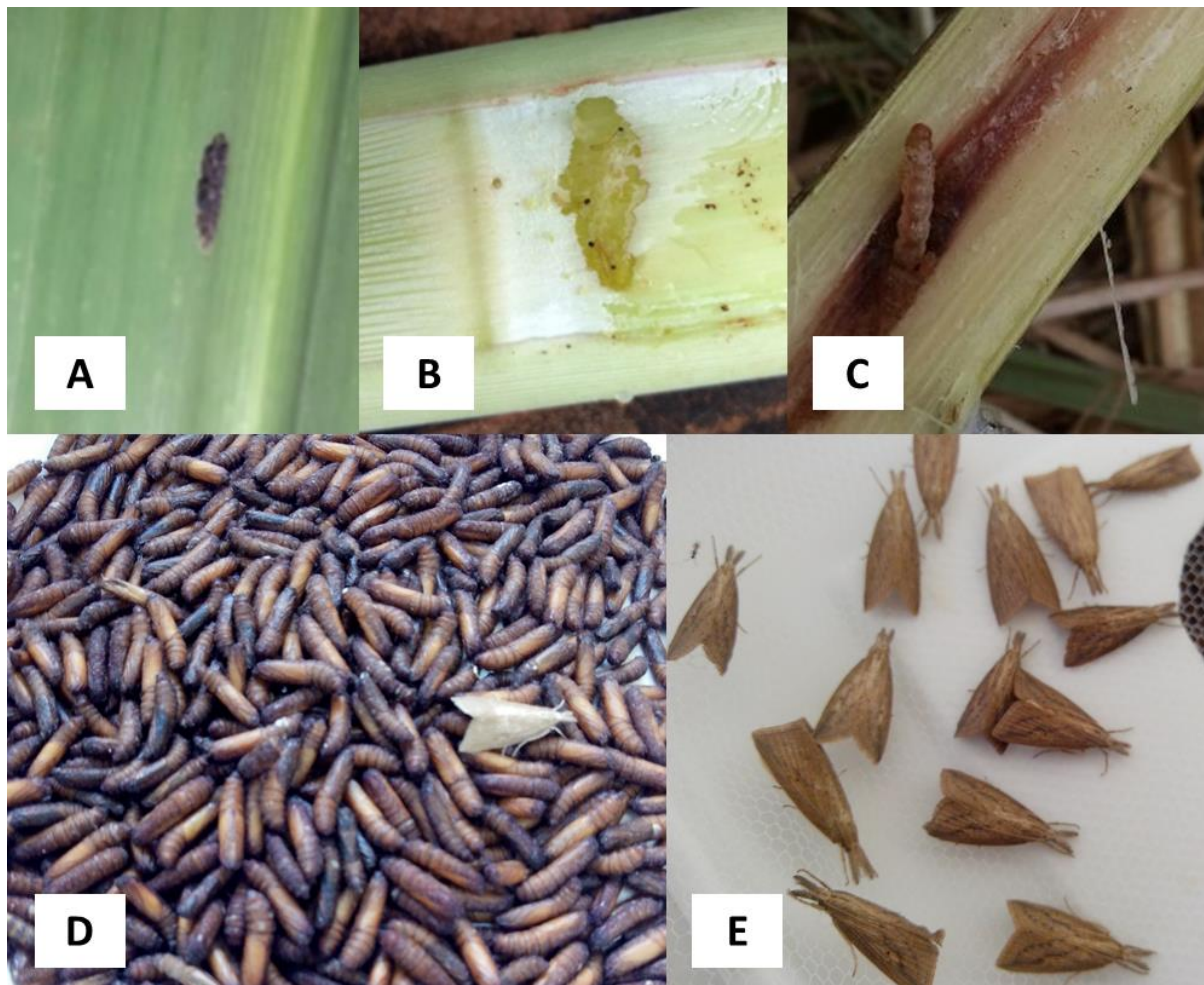
A colheita mecanizada trouxe vários benefícios para a cultura da cana, como redução de custo de colheita (RODRIGUES, 2008); melhora nos atributos microbiológicos, químicos e

físicos dos solos, melhorando a qualidade do solo e reduzindo a degradação (OLIVEIRA et al., 2014). No entanto, também proporcionou um ambiente favorável para o aumento populacional de algumas pragas, como a broca da cana-de-açúcar (*Diatraea saccharalis*) e cigarrinha-das-raízes (*Mahanarva fimbriolata*) (MACEDO; MACEDO, 2004).

2.2 Broca da cana-de-açúcar (*Diatraea saccharalis*)

A broca da cana-de-açúcar (*Diatraea saccharalis*), pertencente à ordem Lepidoptera e família Crambidae. É a praga predominante na cultura da cana, sendo amplamente distribuída por todo o país (DINARDO-MIRANDA, 2008). Além da cana-de-açúcar, tem como hospedeiros o arroz (*Oryza sativa*), milho (*Zea mays*) e sorgo (*Sorghum bicolor*).

Figura 4. Broca da cana-de-açúcar (*D. saccharalis*): (A) ovos da mariposa da broca, (B) lagartas recém eclodidas raspando a região próxima ao nó da cana, (C) lagarta da broca dentro da galeria no colmo da cana-de-açúcar, (D) pupa da broca e (E) mariposa da broca, forma adulta da praga.



Fonte: Próprio autor.

A Figura 4 mostra as fases do desenvolvimento da broca. O inseto adulto é de coloração amarelo-palha, com manchas escuras nas asas anteriores, sendo a fêmea maior que o macho e facilmente diferenciada pelo tamanho e formato do abdome. A ovoposição é feita principalmente nas folhas e, raramente, na bainha. Após a eclosão dos ovos, as lagartas migram para a região do cartucho da planta, local onde o tecido é mais tenro, onde permanecem de uma a duas semanas, raspando a folha ou a casca do entrenó em formação. Após esse período, o inseto perfura a casca do colmo, geralmente próximo à base do entrenó por ter tecido mais mole, abrindo galeria no sentido ascendente na região do palmito da planta. A lagarta apresenta coloração branco-leitosa, com pequenas manchas marrom-claras, ao longo do corpo, medindo cerca de 25 mm quando completamente desenvolvida. Após penetrar na cana, a lagarta passa toda essa fase protegida ali. Próximo à pupação, a lagarta abre um orifício na casca, fechando-o parcialmente com fios de seda e restos de alimento. A fase de pupação dura aproximadamente dez dias. O adulto vive em média cinco dias e a fêmea põe, em média, 300 ovos (MACEDO; MACEDO, 2004).

O dano direto causado pela broca são as galerias que levam a redução do TCH e a redução da resistência do colmo à ação de ventos, levando a sua quebra. Quando o ataque atinge a região de crescimento da planta, pode ocorrer a morte da gema apical, com sintoma de amarelecimento das folhas mais novas, denominado “coração morto” (MACEDO; MACEDO, 2004; DINARDO-MIRANDA, 2014). De acordo com Pannuti et al. (2013), as galerias abertas, dano indireto do ataque da praga, favorecem a entrada de microrganismos oportunistas causadores da podridão-vermelha (*Colletotrichum falcatum* associado ou não a *Fusarium moniliforme*), doença que deixa o tecido avermelhado e que leva a degradação da sacarose.

O ataque da praga diminui o teor de sacarose, devido a inversão em açúcares redutores (frutose e glicose), e contamina o caldo, o que dificulta a fermentação (DINARDO-MIRANDA, 2008; DINARDO-MIRANDA et al., 2012). Estima-se que a cada 1% de I.I.% ocorre redução de 1,5% na produtividade dos colmos; 0,49% na produção de açúcar e 0,28% da produção de etanol (ARRIGONI, 2002).

A forma de medir o impacto do dano no canavial é através do levantamento da intensidade de infestação. Este levantamento consiste na amostragem de colmos próximos ou no momento da colheita, quando são contados os colmos sadios e os afetados pelo ataque da broca, fazendo o cálculo de porcentagem de ataque. A Figura 5 mostra os colmos de cana-de-açúcar afetados pelo ataque da broca, podendo observar as galerias feitas pelo hábito alimentar, a podridão vermelha pela associação com microrganismos e colmos saldáveis não afetados pelo ataque.

Figura 5. Colmos com danos diretos (galerias) e indiretos (podridão-vermelha) do ataque da broca da cana-de-açúcar.



Fonte: Próprio autor.

Há poucos estudos em relação ao tamanho de parcela a ser amostrado para representar a I.I.%. Dentre os escassos trabalhos na literatura, Silva et al. (1997), ao estudar a estimativa da suficiência amostral para avaliar intensidade de infestação por broca, encontraram que seria necessário o levantamento de 20 colmos por hectare para obter uma boa representatividade dos dados. Vendramim et al. (1988), para comparar dois métodos para avaliação da infestação pelo complexo broca-podridões em cultivares de cana-de-açúcar, amostraram 20 colmos em 20 m² de parcela experimental. No setor canavieiro, o tamanho da parcela para a determinação da I.I.% tem grande variabilidade, mas são utilizados basicamente dois: (i) coleta ao acaso de 20 colmos ha⁻¹; e (ii) coleta de 125 colmos por talhão homogêneo (mesma variedade, idade, corte e tipo de solo), em cinco pontos do talhão com 25 colmos por ponto (DINARDO-MIRANDA, 2014).

2.3 Métodos para estimativa do tamanho de parcelas

A determinação do tamanho de parcelas na experimentação agropecuária é um dos fatores que está relacionado com a redução do erro experimental, que é decorrente da heterogeneidade das parcelas (GONZÁLEZ, 2013). De acordo com Storck et al. (2011), o erro

experimental consiste na variação entre as parcelas, depois de retirados os efeitos possíveis de serem controlados, que pode ser reduzido ou minimizado, porém não pode ser totalmente eliminado.

Devido a quantidade de variáveis existentes no processo de experimentação, estimar o tamanho de parcela se torna complexo e, por isso, foram propostos diversos métodos, os quais são utilizados com eficiência de acordo com a situação em que são aplicados. Os métodos que utilizam o coeficiente de variação (CV) como parâmetro são amplamente utilizados para a definição do tamanho ótimo de parcelas, como o método da máxima curvatura (LESSMAN; ATKINS, 1963), método máxima curvatura modificado (MEIER; LESSMAN, 1971), o método platô de resposta linear (ANDERSON; NELSON, 1971) e o método platô de resposta quadrática (ANDERSON; NELSON, 1975).

O CV é uma medida de dispersão assim como a variância, desvio padrão e erro padrão da média, que são calculadas para melhorar a noção da distribuição dos dados (BANZATTO; KRONKA, 2015).

De acordo com Pimentel-Gomes (2009), o CV é uma medida importante sobre a variabilidade dos resultados experimentais que pode possibilitar a definição do número de repetições do ensaio, o autor em 1985, fez uma classificação para o coeficiente de variação. Mesmo sendo muito utilizada, de acordo com Lima (2004) essa classificação é abrangente e não considera a natureza do ensaio quanto à cultura estudada e, principalmente, quanto à variável utilizada, o que pode ser importante para interpretação das magnitudes dessa medida. O problema de utilizar essa classificação não consiste apenas em generalizar todos experimentos como se fossem agrícolas (GARCIA, 1989), mas sim generalizar todas as variáveis e tipos de experimentação aos quais os dados se referem. A utilização desta classificação promove uma generalização dos experimentos, colocando todos como se fossem agrícolas, além de generalizar todas as variáveis e tipos de experimentação.

Lopes et al. (1998) utilizaram o método da máxima curvatura modificada realizando experimentos com a cultura do tomateiro e concluiu que o delineamento experimental mais adequado é o inteiramente casualizado com parcelas menores que 18 plantas. Cargnelutti Filho et al. (2011), compararam os métodos da curvatura máxima modificada, do modelo linear de resposta com platô e da curvatura máxima do modelo do coeficiente de variação com a cultura do milho, observando que por esses métodos, o tamanho ótimo de parcela entre os híbridos de milho foi de 6 unidades básicas (ub) para o híbrido simples e 5 ub para os híbridos triplo e duplo.

Paranaíba et al. (2009), propuseram dois métodos para a determinação do tamanho ótimo de parcelas em experimentos com arroz: o método do modelo linear de resposta com platô e o método da curvatura máxima do modelo do coeficiente de variação. Através destes métodos, verificou que ambos podem ser utilizados nas situações reais práticas e se mostraram adequados para determinação do tamanho ótimo de parcelas experimentais.

Peixoto et al (2011), Campos et al. (2010) e Silva et al. (2012) utilizaram o modelo de regressão linear segmentado com platô, que utilizam a técnica de resposta com platô a modelos que possuam mínimo, com as culturas do maracujazeiro *in vitro*, café e rabanete, respectivamente. Peixoto et al (2011) concluíram que os tamanhos de parcelas variaram com o método utilizado, encontrando como tamanho ideal parcelas 6 explantes de maracujá. O tamanho de parcela encontrado por Campos et al. (2010) foi de 12 mudas de café e De Oliveira Silva et al. (2012) estimaram que, para a cultura do rabanete, o tamanho de parcela pode variar de 21 a 63 plantas dependendo da variável analisada.

Utilizando o modelo de máxima curvatura modificado com a cultura da soja, Martin et al (2005), obteve o tamanho ótimo de parcelas dado por $3,96 \text{ m}^2$. Leite (2007) com a cana-de-açúcar, conclui que 10 plantas por família possibilitaria a estimação bastante precisa dos parâmetros para a variável °Brix.

Os autores Cocco et al (2010) utilizou o método de máxima curvatura para estimar o tamanho ótimo de parcelas para as culturas do morango, concluindo que são necessárias dez plantas, no cultivo com solo, e de seis plantas, no cultivo hidropônico. Brum et al (2016) utilizando o mesmo método para a cultura do brócolis, estimaram que 5 unidades experimentais básicas, ou plantas, compunham o tamanho ótimo de parcela.

Carneiro et al (2012) utilizaram os métodos de máxima curvatura, platô linear e quadrático para estimar o tamanho ótimo de parcelas com a cultura do feijão. Os autores observaram que oito plantas por lote são um número adequado para avaliar a reação do feijoeiro ao mofo branco. Donato et al (2008), estimaram 6 ub (36 m^2) em bananeira com os métodos da máxima curvatura, máxima curvatura modificado e comparação de variâncias.

Em relação à suficiência amostral, Acunha et al (2014) em seu estudo para estimar a massa dos colmos de cana-de-açúcar em parcelas experimentais, obteve que amostras de 20 colmos coletados aleatoriamente na parcela experimental são suficientes para estimar adequadamente a variável massa do colmo. Com este valor, serão obtidas avaliações confiáveis em relação à produtividade em colmos.

Landell et al (1999), estudou a eficiência de alguns métodos de amostragem na predição da produtividade da cana-de-açúcar em parcelas experimentais. Constatou-se também que,

quando é realizada a pesagem de colmos em um metro de linha, é necessário um número mínimo de 4 amostras por parcela. A estimativa de elevadas produtividades induz a uma menor precisão e tendem a apresentar resultados subestimados em relação ao peso da parcela total.

Em Silva et al (1997) 6 tamanhos de parcelas compostas de 10, 20, 40, 60, 80 e 100 colmos por hectare foram comparados pelo método da eficiência relativa (ER%), com a finalidade de estimar a intensidade de infestação de *Diatraea saccharalis* em cana-de-açúcar. Neste estudo, os autores obtiveram que a parcela de 20 colmos por hectare foi a mais eficiente. Segundo Scolforo (2012), a suficiência amostral é uma questão muito discutida pelos pesquisadores, pois sempre se afirma a necessidade de que as espécies de uma comunidade estejam significativamente mensuradas na amostragem.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado com dados coletados nas safras 2013/14 e 2015/16, em áreas de plantio comercial de cana-de-açúcar localizadas na região do Triângulo Mineiro, com classificação climática Aw, segundo Köppen, caracterizado como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno.

O levantamento da intensidade de infestação foi realizado no momento da colheita, coletando 50 colmos por eito de colheita, independentemente do tamanho de área amostrada, cortando longitudinalmente e contando total de entrenós e entrenós danificados, direta e indiretamente, pela broca da cana (Figura 6).

Figura 6. Amostragem da intensidade de infestação (I.I.%): (A) eito de colheita de cana-de-açúcar e (B) amostragem da I.I.% sendo realizada no momento da colheita.



Foto: Próprio autor.

O cálculo de intensidade de infestação é expresso através da seguinte equação:

$$I.I. \% = (\text{Entrenós danificados} \div \text{Entrenós totais}) \times 100 \quad (1)$$

Os dados foram classificados em vinte tamanhos de área amostrada em hectares, definidas a partir da menor área amostrada, considerando que o menor tamanho de parcela terá maior média de entrenós, consequentemente, o maior tamanho de parcela terá menor média de entrenós. Na Tabela 1 estão representadas as classes de área, média de entrenós por parcela (TP), o número de parcelas (NP) coletadas para cada classe de área, média da intensidade de infestação (I.I.%) e o coeficiente de variação da intensidade de infestação (CV I.I.%).

A precisão experimental foi avaliada em relação ao tamanho da área a ser amostrada e ao número de entrenós por parcela, para os cálculos relativos ao tamanho da área a ser

amostrada foram utilizados quatro métodos para o cálculo do tamanho de parcela: método de inspeção visual da curvatura máxima (LESSMAN; ATKINS, 1963), método da máxima curvatura modificado (MEIER; LESSMAN, 1971), modelo linear segmentado com platô (ANDERSON; NELSON, 1971) e modelo quadrático segmentado com platô (ANDERSON; NELSON, 1975). Para os cálculos referentes ao número de entrenós foi utilizado o método da estimativa da suficiência amostral proposto por SILVA et al. (1997). Os cálculos dos tamanhos de parcela foram calculados pelo software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015)

Tabela 1. Classificação dos tamanhos de parcela por área em hectare, média de entrenós por parcela (TP) e número de parcelas (NP)

Classes por área	Tamanho da parcela (área em hectare)	Média de entrenós por parcela (TP)	Número de parcelas (NP)
1	> 75	7,37	32
2	50 - 75	14,88	74
3	45 - 50	25,72	59
4	40 - 45	19,84	69
5	37,5 - 40	22,19	62
6	35 - 37,5	23,99	57
7	32,5 - 35	26,27	82
8	30 - 32,5	26,36	97
9	27,5 - 30	27,94	111
10	25 - 27,5	31,74	116
11	22,5 - 25	35,97	145
12	20 - 22,5	41,68	215
13	17,5 - 20	46,47	158
14	15 - 17,5	53,65	186
15	12,5 - 15	59,80	164
16	10 - 12,5	77,27	189
17	7,5 - 10	98,83	224
18	5 - 7,5	131,73	216
19	2,5 - 5	222,72	123
20	0 - 2,5	533,97	54

Fonte: Próprio autor.

3.1 Cálculo do Tamanho da área a ser amostrada

Para o cálculo da área a ser amostrada dentre os diversos métodos empregados por diversos autores, para este trabalho foram escolhidos: o método da máxima curvatura (LESSMAN; ATKINS, 1963), o método da máxima curvatura modificado (MEIER; LESSMAN, 1971), o método platô de resposta linear (ANDERSON; NELSON, 1971) e o método platô de resposta quadrática (ANDERSON; NELSON, 1975).

3.1.1 Método de inspeção visual da curvatura máxima

Para determinar o tamanho ótimo de parcelas através do método de inspeção visual da curvatura máxima, foram calculados os coeficientes de variação (CV) dos dados. Para os tamanhos de parcela pré-estabelecidos no ensaio, os valores percentuais dos dados foram plotados contra os respectivos tamanhos de parcela em um sistema de eixos de coordenadas, obtendo-se uma curva que representa a relação existente entre essas variáveis. Utilizou-se do instrumento computacional do programa R, para os cálculos, construção dos gráficos e obtenção das curvas mediante união dos pontos coordenados por meio de segmentos de reta.

Foi considerado como o tamanho ótimo de parcela, portanto, o valor da abscissa correspondente ao ponto sobre a curva onde ocorre a maior taxa de mudança do CV em resposta ao aumento no tamanho de parcela (FEDERER, 1963), também foram estimados os coeficientes de determinação para verificar a qualidade de ajuste do modelo.

3.1.2 Método da máxima curvatura modificado

Para determinação do método da máxima curvatura modificado foi utilizada a sugestão dada por Lessman e Atkins (1963), que pode ser interpretado como um aperfeiçoamento e modificação do método de inspeção visual da curvatura máxima.

Neste método, a relação entre o coeficiente de variação (CV) e o correspondente tamanho da parcela com X unidades básicas foi estimada pelo seguinte modelo:

$$CV = a X^{-b} \quad (2)$$

em que:

a e b são os parâmetros a serem estimados.

A partir da função de curvatura obtida por esse modelo, determinou-se o valor da abscissa em que ocorre o ponto de máxima curvatura (MEIER; LESSMAN, 1971), sendo o estimador dado pela expressão:

$$X_c = \exp\left\{\left[\frac{1}{2b + 2}\right] \log\left[\frac{(ab)^2(2b + 1)}{(b + 2)}\right]\right\} \quad (3)$$

onde:

X_c é o valor da abscissa no ponto de máxima curvatura, em que corresponde à estimativa do tamanho ótimo da parcela experimental;

a é a estimativa da constante de regressão;

b é o coeficiente de regressão.

Também foram estimados os coeficientes de determinação para verificar a qualidade de ajuste do modelo.

3.1.3 Modelo linear segmentado com platô

Com a finalidade de estimar o tamanho de parcela, por meio de modelo linear segmentado com platô, utilizou-se o seguinte modelo de regressão:

$$CV = \begin{cases} \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_1 & \text{se } X_i \leq X_C \\ P + \varepsilon_1 & \text{se } X_i > X_C \end{cases} \quad (4)$$

em que:

CV é o coeficiente de variação entre totais de parcela de tamanho de X_i unidades binárias;

X_i é o tamanho da parcela em unidades básicas agrupadas;

X_c é o tamanho ótimo de parcelas para o qual o modelo linear se transforma em um platô, em relação a abscissa;

P é o coeficiente de variação no ponto correspondente ao platô;

β_0 representa o intercepto;

β_1 o coeficiente angular do segmento linear;

P é o coeficiente de variação no ponto correspondente ao platô (interceptação do segmento linear e platô);

ε_1 é o erro associado ao $CV_{(x)}$, considerado independente e normalmente independentemente distribuídos com média 0 e variância σ_ε^2 constante.

Para realizar a estimação do tamanho ótimo de parcela, adotou-se a expressão que se segue abaixo:

$$X_c = (\hat{P} - \hat{\beta}_0) / \hat{\beta}_1 \quad (5)$$

em que:

$\hat{\beta}_0$, $\hat{\beta}_1$ e \hat{P} são os valores estimados dos parâmetros do modelo linear com resposta platô.

3.1.4 Modelo quadrático segmentado com platô

Similar ao modelo linear segmentado com platô, sendo que para os valores de $X_i \leq X_c$ é descrito por um modelo quadrático (parábola) e para valores de $X_i > X_c$ é descrito por uma constante (platô); o ponto de interceptação dos dois segmentos (quadrático e platô) será considerado como o tamanho ótimo de parcela e deverá ser estimado.

$$CV = \begin{cases} \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_2 X_i^2 + \varepsilon_1 & \text{se } X_i \leq X_C \\ P + \varepsilon_1 & \text{se } X_i > X_C \end{cases} \quad (6)$$

em que:

CV é o coeficiente de variação entre totais de parcela de tamanho de X_i unidades binárias;

X_i é o tamanho da parcela em unidades básicas agrupadas;

X_c é o tamanho ótimo de parcelas para o qual o modelo linear se transforma em um platô, em relação a abscissa;

P é o coeficiente de variação no ponto correspondente ao platô;

β_0 , β_1 , e β_2 são os parâmetros de um polinômio de 2°;

ε_1 é o erro associado ao $CV_{(x)}$, considerado independente e normalmente independentemente distribuídos com média 0 e variância σ_ε^2 constante.

O tamanho ótimo de parcelas foi estimado pela expressão:

$$X_c = -\beta_1/2\beta_2 \quad (7)$$

3.2 Cálculo do número de entrenós

A estimativa do número de entrenós que deve ser coletado em hectare foi realizada pelo método da estimativa da suficiência amostral.

Para os cálculos relativos ao número de entrenós foi utilizado a estimativa da suficiência amostral descrita por SILVA et al. (1997). O procedimento de seleção do tamanho ideal da parcela foi o da eficiência relativa (Covas; Christensen, 1945; Freese, 1962; Machado; Albertini, 1973; Scolforo et al., 1993), segundo a fórmula:

$$ER\% = \frac{NPR_i \times EAR_i}{NPR_j \times EAR_j} \times 100 \quad (8)$$

Onde:

NPR_i e NPR_j correspondem aos números de parcelas representativos da população usando parcelas do tipo (ij), definidos por:

$$NPR = \frac{t_{x(0,025)}^2 \times CV_x^2}{EA^2}, \quad x = i, j \quad (9)$$

em que:

t_x é o valor na distribuição de t a 5% de probabilidade;

CV_x é o coeficiente de variação;

EA% é o erro de amostragem adotado (10%).

Os valores de EAR_i e o EAR_j são os erros amostrais reais (ocorridos no campo), usando parcelas do tipo (ij), definidos por:

$$EAR_x = \frac{t_{x(0,025)} \times S_{\bar{x}}}{II\%} \quad (10)$$

Onde:

$S_{\bar{x}}$ é o erro padrão da média e I.I.% é a intensidade de infestação.

A interpretação do resultado do cálculo do ER% é realizada da seguinte maneira: quanto menor for valor do ER% em relação à 100, o tipo de parcela utilizado no numerador é mais eficiente que o tipo usado no denominador; se o valor de ER% for próximo ou igual a 100, as parcelas são consideradas semelhantes, considerando-se um tipo de parcela padrão, ou seja, 100% eficiente, e compara-se com os outros.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 2 são apresentados as médias e coeficientes de variação da intensidade de infestação (CV I.I.%) para cada classe por área. Os valores do coeficiente de variação variaram de 70,53 a 116%.

Tabela 2. Classificação dos tamanhos de parcela por área em hectare, média de entrenós por parcela (TP), número de parcelas (NP), média da intensidade de infestação (I.I.%) e coeficiente variação da intensidade de infestação (CV I.I.%).

Classes por área	Tamanho da parcela (área em hectare)	Número de parcelas (NP)	Média de entrenós por parcela (TP)	CV I.I.%
1	> 75	32	7,37	116,25
2	50 - 75	74	14,88	89,10
3	45 - 50	59	25,72	91,84
4	40 - 45	69	19,84	97,25
5	37,5 - 40	62	22,19	83,49
6	35 - 37,5	57	23,99	89,84
7	32,5 - 35	82	26,27	77,51
8	30 - 32,5	97	26,36	89,89
9	27,5 - 30	111	27,94	74,28
10	25 - 27,5	116	31,74	70,53
11	22,5 - 25	145	35,97	72,88
12	20 - 22,5	215	41,68	72,11
13	17,5 - 20	158	46,47	71,91
14	15 - 17,5	186	53,65	72,74
15	12,5 - 15	164	59,80	71,32
16	10 - 12,5	189	77,27	73,62
17	7,5 - 10	224	98,83	72,77
18	5 - 7,5	216	131,73	70,71
19	2,5 - 5	123	222,72	70,87
20	0 - 2,5	54	533,97	71,36

Fonte: Próprio autor.

De acordo com Pimentel-Gomes (2009), para experimentos de campo, coeficientes de variação acima de 30% são considerados muito altos, indicando baixa precisão experimental. Couto et al. (2013), estudando os coeficientes de variação para experimentos com cana-de-açúcar, discordou das classificações propostas por Pimentel-Gomes, que não considera, entre outros fatores, a cultura estudada, as variáveis em análise, a heterogeneidade do solo e o tamanho da parcela. Segundo os autores, cada variável analisada deve ter suas próprias gamas de classificação. Dinardo-Miranda et al. (2013), avaliando a intensidade de infestação por broca em diferentes cultivares de cana, encontrou valores de CV que variaram de 17,5 a 43,7%.

A classificação dos valores do CV não foram foco deste trabalho, os métodos utilizados neste estudo para o cálculo do tamanho ótimo de parcela não consideram puramente o valor do CV, mas sim a variância entre os valores estudados para cada tamanho de parcela.

4.1 Cálculo do Tamanho da área a ser amostrada

A seguir serão apresentados os cálculos relativos as estimativas do tamanho da área que deverá ser amostrada em hectare. Apesar dos resultados estarem próximos, os resultados estão apresentados por cada um dos métodos em separado.

4.1.1 Método de inspeção visual da curvatura máxima

Analisando os dados através do método da máxima curvatura, mostrado na Tabela 3, identificou-se que a área a ser coletada deverá ser a correspondente a classe 10, ou seja, a área a ser amostrada deverá ser de 25 a 27,5 ha.

O coeficiente de determinação (R^2) foi de 83,31%, ou seja, 83% dos dados se ajustam ao modelo estatístico utilizado para a determinação do tamanho ideal de parcela e o CV foi de 77,29%. Estes valores indicam que, a partir da classe 10, a redução da área da parcela amostrada não apresenta incremento de precisão.

Tabela 3. Estimativas dos parâmetros da relação $CV = a X^{-b}$, pelo método da inspeção visual da curvatura máxima, coeficiente de variação (CV %), valor da abscissa em que ocorre o ponto de máxima curvatura (X_c), coeficientes de determinação (R^2) para Intensidade de Infestação (I.I.%).

Parâmetros		Coeficiente de variação (CV%)	Tamanho de parcela (X_c)	Coeficiente de determinação (R^2)
\hat{a}	\hat{b}			
110,35	0,156	77,29	9,8	83,31

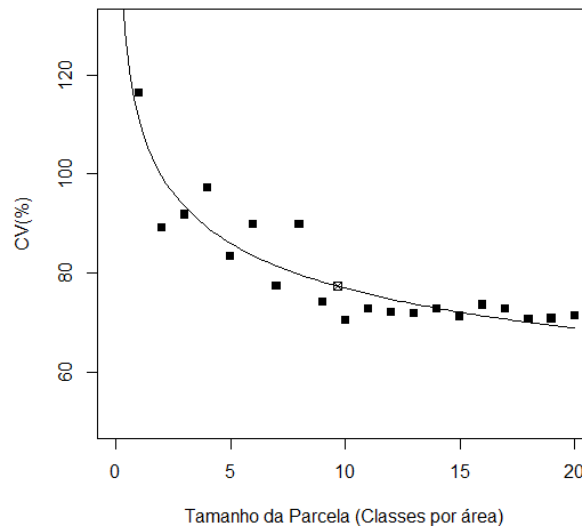
Fonte: Próprio autor.

Dinardo-Miranda (2013), usou como parcela experimental uma área de 24 m² para avaliar a reação de cultivares de cana-de-açúcar à broca do colmo. Silva et al. (1997), em seu trabalho para estimar o tamanho de parcela, para avaliar a intensidade de infestação de broca-comum em cana-de-açúcar, usou como base de área 10.000 m² ou 1 hectare. Acunha et al. (2014), em seu estudo sobre suficiência amostral para a estimar a produção de cana-de-açúcar,

usou como base 44,8 m² como tamanho de parcela. Igue et al. (1991), em seu estudo relacionado ao tamanho e a forma de parcela para experimento de campo com cana-de-açúcar, encontraram que em solos homogêneos, parcelas bem menores que 54 m² (12 a 36 m²) puderam ser utilizadas com maior eficiência.

A Figura 7 é o gráfico que mostra a relação do CV com o tamanho de parcela. Através da inspeção visual, foi possível determinar que o ponto de inflexão da curva, que é o ponto onde é definido o tamanho ideal da parcela, está muito próximo da classe 10, que representa o tamanho de parcela de 25 a 27,5 ha.

Figura 7. Relação entre o coeficiente de variação CV (%) e tamanho de parcela (Xc) para intensidade de infestação (I.I.%) considerando as classes em hectare.



Fonte: Próprio autor.

O método de inspeção visual da curvatura máxima também foi usado por Igue et al. (1991) para estimar o tamanho ideal de parcelas experimentais em cana-de-açúcar e é muito utilizado para outras culturas como, por exemplo, o milho (STORCK et al., 2006), banana (DONATO et al., 2008), mandioca (VIANA et al., 2002) e *Urochloa ruziziensis* (DIAS et al., 2013). Portanto, o método de inspeção visual da curvatura máxima mostrou que, em relação do tamanho de parcela, a área amostrada deverá estar entre 25 a 27,5 ha, ou seja, um talhão de 50 ha deverá ser dividido em duas áreas de 25 ha para que haja representatividade da amostra.

4.1.2 Método da máxima curvatura modificado

A Tabela 4 mostra as estimativas dos parâmetros equações de regressão entre o coeficiente de variação e o seu correspondente tamanho de parcela em unidades básicas, com os respectivos coeficientes de determinação (R^2), como também a estimativa do tamanho adequado da parcela (X_c) pelo método da máxima curvatura modificado.

Os resultados obtidos através do método da máxima curvatura modificado foram semelhantes ao o método de inspeção visual da curvatura máxima. Os tamanhos adequados de parcelas ficaram em torno da classe 10, ou seja, o tamanho da área a ser amostrada deverá ser de 25 a 27,5 ha, com CV de 77,43% e R^2 de 84%, demonstrando que a partir da classe 10 não houve grande incremento de precisão, não necessário retirar amostras em uma área menor que 25 ha.

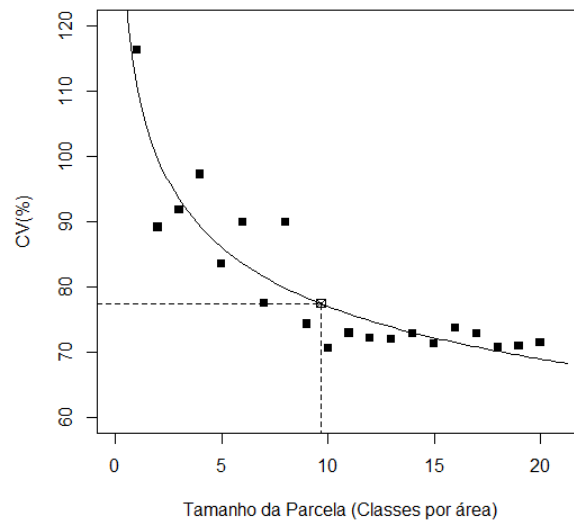
Tabela 4. Estimativas dos parâmetros da relação $CV = a X^{-b}$, pelo método da máxima curvatura modificado, coeficiente de variação (CV), valor da abscissa em que ocorre o ponto de máxima curvatura (X_c), coeficientes de determinação (R^2) para Intensidade de Infestação (I.I.%)

Parâmetros		Coeficiente de variação (CV%)	Tamanho de parcela (X_c)	Coeficiente de determinação (R^2)
\hat{a}	\hat{b}			
111,28	0,16	77,43	9,67	83,53

Fonte: Próprio autor.

A Figura 8 mostra a relação do CV com o tamanho de parcela e o ponto calculado como o tamanho ótimo de parcela para tamanho de área para determinar a I.I.%. A proximidade do ponto com a classe 10, mostra que o tamanho ótimo de parcela seria entre 25 a 27,5 ha. Portanto, caso a área a ser amostrada seja maior que 27,5 ha, deve-se seccionar a área em partes menores para garantir a representatividade da amostragem.

Figura 8. Relação entre o coeficiente de variação CV(%) e tamanho de parcela (X_c) para II considerando as classes em hectare.



Fonte: Próprio autor.

Celanti et al. (2016), utilizaram os métodos de inspeção visual da curvatura máxima e o da máxima curvatura modificado e obtiveram as mesmas estimativas para os tamanhos de parcelas através de ambos os métodos em seus estudos realizados com a cultura do mamão. Donato et al. (2008), observaram menores tamanhos de parcela obtidas pelo método da máxima curvatura modificado comparado ao método de inspeção visual da curvatura máxima em experimento com bananeira, indicando que o primeiro método seria o mais adequado para determinar tamanhos de parcela. Conclusão semelhante ao de Lopes et al. (2005), avaliando o tamanho de parcela ideal para sorgo granífero, que indicou o método da máxima curvatura modificado como o mais representativo.

O método da máxima curvatura modificado fornece resultados mais precisos que o método de inspeção visual da curvatura máxima, pois o tamanho de parcela é estimado algebricamente através da relação entre coeficiente de variação e tamanho da parcela, que é explicada por meio da equação de regressão (VIANA, 1999).

4.1.3 Modelo linear segmentado com platô

A aplicação da regressão segmentada com platô permitiu compreender o comportamento da variabilidade das variáveis I.I.%, observando se a quantificação da variável coeficiente de variação foi suficiente. Como pode ser observado na Tabela 5, o tamanho ótimo de parcela (X_c) foi relativo a 10ª classe (25 a 27,5 hectare).

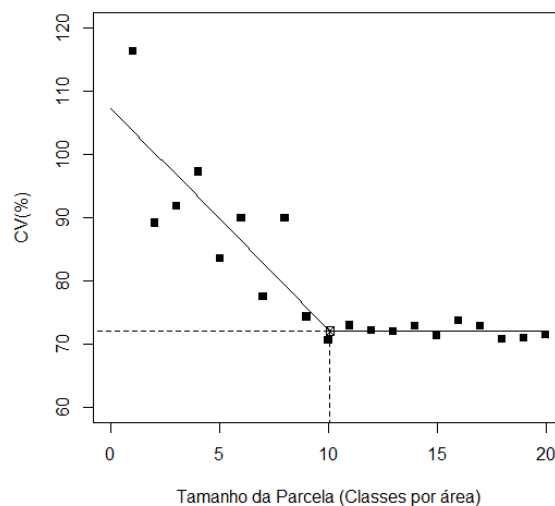
Tabela 5. Estimativas dos parâmetros do modelo segmentado linear com resposta em platô, do platô de resposta correspondente ao ponto de máxima curvatura (P), do valor da abscissa em que ocorre o ponto de máxima curvatura (X_c) e do coeficiente de determinação (R^2) para Intensidade de Infestação (I.I.%).

Parâmetros		Coefficiente de variação	Tamanho de parcela	Coefficiente de determinação
\hat{a}	\hat{b}	P	X_c	R^2
107,25	-3,50	72,03	10,06	81,24

Fonte: Próprio autor.

Na Figura 9 é possível observar que, conforme há aumento no tamanho das parcelas, ocorre a redução do coeficiente de variação (CV%), sendo que nos maiores tamanhos tendeu à estabilidade. Este comportamento sugere que a redução do tamanho de parcela compensa até certo ponto pelos baixos ganhos em relação a precisão experimental, em que, se extrapolado, poderá refletir no aumento do uso de recursos para coleta amostral. A partir da classe 10 (25 a 27,5 hectare) não houve grande incremento de precisão para esse método, corroborando com os métodos que utilizam a máxima curvatura.

Figura 9. Relação entre o coeficiente de variação CV(%) e tamanho de parcela (X_c) para II considerando classes em hectare.



Fonte: Próprio autor.

Paranaíba et al. (2009) propuseram dois métodos para a determinação do tamanho ótimo de parcelas em experimentos com arroz: o método do modelo linear de resposta com platô e o método da curvatura máxima modificado. Os autores verificaram que os métodos podem ser utilizados nas situações reais práticas e se mostraram adequados para determinação do tamanho

ótimo de parcelas experimentais. Cargnelutti Filho et al. (2011), utilizaram os métodos de máxima curvatura modificado e modelo linear segmentado com platô para estimar o tamanho ótimo de parcelas experimentais de híbridos de milho simples, triplo e duplo, obtendo como resultado áreas que variaram de 4,67 a 5,98 m², optando pelo método da curvatura máxima modificado como o mais adequado para experimentação com híbridos de milho.

4.1.4 Modelo quadrático segmentado com platô

Conforme verificamos na Tabela 5, a estimativa de área por este método foi a correspondente a classe 14, ou seja, de 15 a 17,5 ha, com coeficiente de variação (CV) de 71,82% e coeficiente de determinação (R²) de 81,85%, ou seja, mais de 80% dos dados analisados se ajustam ao modelo estatístico adotado.

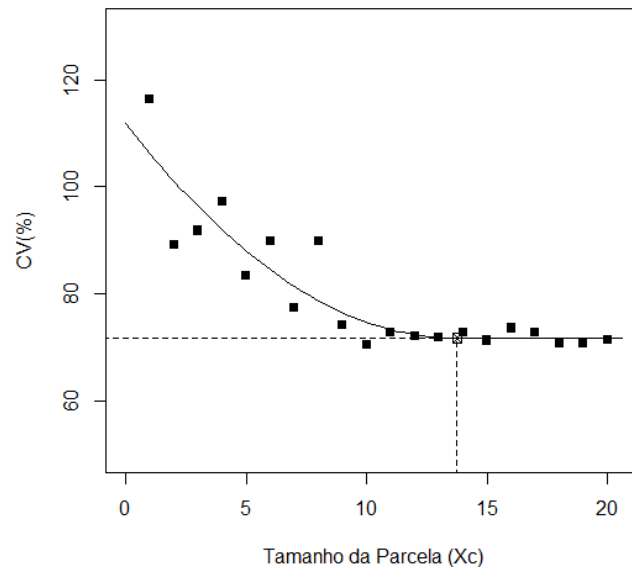
Tabela 6. Estimativas dos parâmetros do modelo de regressão quadrático com resposta em platô, coeficiente de variação que estima o platô de resposta correspondente ao ponto de máxima curvatura (P), tamanho da parcela dado pelo valor da abscissa em que ocorre o ponto de máxima curvatura (X_c), e coeficientes de determinação (R²) para a variável I.I.%.

Parâmetros			Coeficiente de	Tamanho de	Coeficiente de
β_0	β_1	β_2	variação	parcela	determinação
			P	X _c	R ²
111,89	-5,83	0,21	71,82	13,74	81,85

Fonte: Próprio autor.

Através da Figura 10 podemos verificar que a partir da classe 10 (25 a 27,5 hectare) não temos decréscimo significativo da variabilidade, a partir dessa classe a variabilidade é quase linear; demonstrando que esse modelo não é indicado para esse conjunto de dados. A parcela encontrada por este modelo seria a correspondente a classe 14, ou seja, 15 - 17,5 hectares, área amostrada muito inferior a encontrada pelos outros modelos utilizados.

Figura 10. Relação entre o coeficiente de variação CV(%) e tamanho de parcela (X_c) para II% considerando o número médio de colmos por hectare e o número de classes



Fonte: Próprio autor.

O método utilizando o modelo de regressão quadrática com platô estima maiores tamanhos de parcelas do que o método de regressão linear. Pode ser que essa estimativa maior seja em razão da curvatura do modelo no seu primeiro segmento, o que seria uma tentativa para melhorar o ajuste aos dados do modelo.

Cargnelutti Filho et al. (2012), concluíram em seus trabalhos que, a partir do ponto em que o aumento do tamanho da parcela não aumenta precisão do experimento, acréscimos adicionais em precisão serão obtidos com o uso de maior número de repetições.

Os estudos relacionados a tamanho de parcela têm contribuído para a redução de recursos financeiros empregados na pesquisa (CARGNELUTTI FILHO; STORCK; DAL' COL LUCIO, 2004). Esta afirmação é refletida nos gráficos apresentados, onde é possível observar que, a partir do tamanho ótimo da parcela há uma estabilização do coeficiente de variação, a partir desse ponto o aumento leva a baixos ganhos em relação a precisão experimental e, portanto, não existe a necessidade de coletar a amostra em uma área menor.

Uma análise comparativa dos métodos mostra que, com base nos valores dos coeficientes de determinação, o método de regressão quadrático proporciona melhores ajustes do que os demais. No entanto, um possível “falso” platô pode ser obtido ao se utilizar de modelos segmentados, pois nem sempre existe amplitude suficiente nos tamanhos de parcelas simulados para se alcançar um platô de resposta. A união das curvas geradas pelo modelo linear ou quadrático em conjunto com a regressão de platô, expressa o tamanho de parcelas adequado

ou ótimo. Assim, a partir do valor X_c em diante, o aumento no tamanho de parcela não traz ganhos em precisão experimental com redução significativa na variabilidade, não havendo necessidade de se utilizar maiores tamanhos de parcelas (PEIXOTO, 2009).

De acordo com os resultados encontrados, verificamos que em situações onde a área a ser amostrada for maior que 27,5 ha, para garantir a precisão da amostragem, a área deverá ser dividida em partes menores, ou seja, se tivermos uma área de 30 hectares é mais válido realizar duas amostras.

4.2 Cálculo de parcelas para número de entrenós

Os valores utilizados nos cálculos de ER% dos diferentes tipos de parcelas (números de colmos), encontram-se na Tabela 6. Verificamos com base no número de parcelas representativo (NPR) que a partir da classe 7 todos os valores amostrados são maiores do que os exigidos, ou seja, a partir desta classe o número de amostra foi satisfatório, pois o tamanho de parcela utilizado foi superior ao número de parcelas representativo.

Tabela 7. Resultados amostrais de média de entrenós por parcela (TP), número de parcelas (NP), média da intensidade de infestação (I.I.%), coeficiente de variação (CV), erro amostral (EAR) e número de parcelas representativo (NPR), nos diversos tamanhos de parcelas estudadas para o cálculo do número de entrenós.

Classes	Área (ha)	TP	NP	I.I.F	CV	EAR	NPR
20	0 - 2,5	534	54	4.77	71.36	0.20	29
19	2,5 - 5	223	123	7.09	70.87	0.11	20
18	5 - 7,5	132	216	6.94	70.71	0.08	20
17	7,5 - 10	99	224	7.38	72.77	0.08	20
16	10 - 12,5	77	189	7.95	73.62	0.09	21
15	12,5 - 15	60	164	7.89	71.32	0.09	20
14	15 - 17,5	54	186	8.63	72.74	0.09	20
13	17,5 - 20	46	158	7.28	71.91	0.10	20
12	20 - 22,5	42	215	6.66	72.11	0.08	20
11	22,5 - 25	36	145	7.47	72.88	0.10	20
10	25 - 27,5	32	116	7.52	70.53	0.11	20
9	27,5 - 30	28	111	7.08	74.28	0.12	21
8	30 - 32,5	26	97	6.83	89.89	0.15	25
7	32,5 - 35	26	82	6.29	77.51	0.14	22
6	35 - 37,5	24	57	6.87	89.84	0.20	25
5	37,5 - 40	22	62	6.44	83.49	0.18	23
4	40 - 45	20	69	6.55	97.25	0.20	27
3	45 - 50	26	59	6.68	91.84	0.20	26
2	50 - 75	15	74	6.59	89.10	0.17	25
1	> 75	7	32	5.83	116.25	0.34	33

Fonte: Próprio autor.

A Tabela 7 apresenta os resultados para eficiência relativa entre cada um dos tamanhos de parcela trabalhados. O tamanho de parcela correspondente à classe 7, composto por 26 entrenós, foi o mais eficiente dentre os usados neste trabalho. Isso significa que a amostragem de 26 entrenós por hectare é suficiente para representar a intensidade de infestação (I.I.%) por broca da cana-de-açúcar.

Para comparar a ER% desse tipo de parcela com qualquer outro (Tabela 8), deve-se considerar a coluna a partir da classe 7, liderada pelo número 26, que foi o número mínimo amostrado. Conclui-se que esse tipo de parcela foi 161% mais eficiente que a classe 6 onde foram usados 24 entrenós ha^{-1} ; superando a classe 8, com o mesmo número de entrenós por hectare; e a classe 20, com 534 entrenós ha^{-1} , sendo 124 e 180% mais eficiente.

As amostras representativas são aquelas em que a proporção de ocorrência do erro amostral e erro não amostral são minimizadas ou quantificadas. Para aumentar a representatividade da amostragem, optou-se por reduzir o erro amostral para aproximadamente 10%, deste modo mais 10 parcelas deveriam ser coletadas (referentes a classe 11), ou seja, 36 entrenós ha^{-1} .

Valsechi et al. (1960), analisando o ataque de broca em cana-de-açúcar, observaram que a média de entrenós variou entre 11 a 23 entrenós, sendo que maior parte dos dados estavam entre 15 e 20 entrenós por colmo de cana. Valor semelhante ao encontrado por Silva e Silva (2012), que verificaram o número de entrenós na cana-de-açúcar no momento da colheita entre 16 a 22 entrenós por colmos. Oliveira et al. (2016), em seu trabalho relacionado à biometria, obtiveram uma média de 2 entrenós por colmo de cana-de-açúcar.

Pode-se observar que há pouca alteração em relação ao comportamento da cana-de-açúcar com relação ao número de entrenós por colmo. Considerando uma média de 19 entrenós por colmo de cana, seria necessário amostrar aproximadamente 2 colmos por hectare em uma área de 32,5 a 35 ha, ou seja, amostrar 70 colmos por parcela de 35 ha.

Tabela 8 - Resultados das eficiências relativas de cada tamanho de parcela (número de colmos por hectare) comparado com os demais.

Classes	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
20	100	38	29	30	33	33	33	34	30	37	39	44	69	56	90	74	95	92	77	200
19	264	100	75	78	87	88	86	91	78	97	102	116	181	146	236	195	251	242	204	528
18	351	133	100	104	116	117	114	121	104	130	136	154	241	195	314	260	335	323	271	702
17	337	128	96	100	111	112	110	116	100	125	131	148	232	187	302	250	322	310	261	675
16	303	115	86	90	100	101	98	104	90	112	117	133	208	168	271	225	289	278	234	606
15	301	114	86	89	99	100	98	104	89	111	116	132	207	167	269	223	287	276	232	602
14	308	117	88	91	102	102	100	106	91	114	119	135	211	171	276	228	293	283	238	616
13	290	110	83	86	96	97	94	100	86	107	112	127	199	161	260	215	277	267	224	581
12	337	128	96	100	111	112	109	116	100	124	130	148	231	187	301	250	321	310	260	674
11	271	103	77	80	89	90	88	93	80	100	105	119	186	150	242	201	258	249	209	542
10	258	98	74	77	85	86	84	89	77	95	100	113	178	144	231	192	246	238	200	517
9	228	86	65	68	75	76	74	79	68	84	88	100	157	127	204	169	217	210	176	456
8	145	55	41	43	48	48	47	50	43	54	56	64	100	81	130	108	139	134	112	291
7	180	68	51	53	59	60	58	62	53	66	70	79	124	100	161	133	172	166	139	360
6	112	42	32	33	37	37	36	38	33	41	43	49	77	62	100	83	107	103	86	223
5	135	51	38	40	45	45	44	46	40	50	52	59	93	75	121	100	129	124	104	270
4	105	40	30	31	35	35	34	36	31	39	41	46	72	58	94	78	100	96	81	210
3	109	41	31	32	36	36	35	37	32	40	42	48	75	60	97	81	104	100	84	218
2	129	49	37	38	43	43	42	45	38	48	50	57	89	72	116	96	123	119	100	259
1	50	19	14	15	17	17	16	17	15	18	19	22	34	28	45	37	48	46	39	100

Fonte: Próprio autor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo linear segmentado com platô e o modelo quadrático segmentado com platô foram os que menos se ajustaram ao conjunto de dados estudados, com coeficientes de determinação de 81,24% e 81,85%, respectivamente, sendo que este último superestimou o tamanho ótimo de parcela para 17,5 ha.

O tamanho ótimo de parcela estimado pelos métodos da máxima curvatura modificado e de inspeção visual da curvatura máxima seriam os mais adequados pensando em eficiência de amostragem, devido a área da parcela ser de até 27,5 ha, com coeficiente de determinação (R^2) por volta de 84% para ambos, ou seja, 84% dos dados estão representados pelos modelos utilizados.

Em relação ao número de entrenós amostrados, de acordo com a estimativa da suficiência amostral utilizada, 36 entrenós por hectare são o suficiente para que a amostra seja representativa. Isto significa que, de acordo com os resultados encontrados e levando em consideração os dados encontrados na literatura sobre número de entrenós por colmo, para obter uma amostragem da intensidade de infestação por broca representativa, deve-se amostrar 2 colmos por hectare.

Portanto, para que a amostragem para I.I.% seja representativa, deve-se amostrar 36 entrenós ha^{-1} em uma parcela de 27,5 ha, ou seja, 990 entrenós em uma parcela de 27,5 ha, que são aproximadamente 2 colmos por hectare em uma parcela de no máximo 27,5 ha.

6 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados encontrados neste trabalho, podemos concluir que o número mínimo a ser amostrado é o de 36 entrenós por hectare e a área máxima a ser amostrada é a de 27,5 hectares.

REFERÊNCIAS

- ACUNHA, J. G. et al. Suficiência amostral para a estimação da produção de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 10, p. 1747-1754, out. 2014. FapUNIFESP (SciELO). Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20131398>.
- ANDERSON, R. L.; NELSON, L. A. **Some problems in the estimation of single nutrient response functions. Inst. of Statistics.** Raleigh: North Carolina State University, 1971.
- ANDERSON, R. L.; NELSON, L. A. A family of models involving intersecting straight lines and concomitante experimental designs useful in evaluating response to fertilizer nutrients. **Biometrics**, Washington, v. 31, n. 2, p. 303-318, 1975.
- ARRIGONI, E. de B. Broca da cana-de-açúcar: importância econômica e situação atual. In: ARRIGONI, E. de B.; DINARDO-MIRANDA, L. L.; ROSSETO, R. **Pragas da cana-de-açúcar: importância econômica e enfoques atuais.** Piracicaba: STAB, 2002. p. 1-4.
- BAKKER, H. **Sugar cane cultivation and management.** Boston: Springer, 1999. 694 p.
- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola.** Jaboticabal: FUNEP, 2015. 247 p.
- BRUM, B.; BRANDELERO, F. D.; OLIVEIRA VARGAS, T. de; STORCK, L.; ZANINI, P. P. G. Tamanho ótimo de parcela para avaliação da massa e diâmetro de cabeças de brócolis. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 3, p. 447-463, 2016.
- CAMPOS, K. A. et al. Métodos de regressão não linear para determinação de tamanho de parcelas em ensaio com sistema radicular de mudas de cafeeiro. In: SINAP, 19., 2010, São Pedro. **Anais...** Campinas: IME, 2010. p. 1-6.
- CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Métodos de estimativa do tamanho ótimo de parcelas experimentais de híbridos de milho simples, triplo e duplo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 9, n. 41, p. 1509-1516, jan. 2011.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L.; LUCIO, A. D. C. Identificação de variáveis causadoras de erro experimental na variável rendimento de grãos de milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, p.707-713, jun. 2004. FapUNIFESP (SciELO). Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-84782004000300009>.
- CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Tamanho de parcela e número de repetições em canola. **Bragantia**, Campinas, v. 74, n. 2, p.176-183, 29 abr. 2015. FapUNIFESP (SciELO). Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0420>.
- CARNEIRO, F. F. et al. Minimum number of common bean plants per plot to assess field resistance to white mold. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v. 11, p. 358-364, 2011. Disponível em: <<http://www.sbmp.org.br/cbab/siscbab/uploads/bd534dc5-2c80-70b2.pdf>>. Acesso em: 05 ago. 2012.

CELANTI, H. F. et al. Optimal plot size in the evaluation of papaya scions: proposal and comparison of methods. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 63, n. 4, p.469-476, ago. 2016. FapUNIFESP (SciELO). Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737x201663040006>.

COCCO, C. et al. Tamanho e forma de parcela em experimentos com morangueiro cultivado em solo ou em hidroponia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, n. 7, p. 681-686, 2010.

COUTO, M. F.; PETERNELLI, L. A.; BARBOSA, M. H. P. Classification of the coefficients of variation for sugarcane crops. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 6, p. 957-961, jun. 2013. FapUNIFESP (SciELO). Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-84782013000600003>.

COVAS, C.; CHRISTENSEN, J. R. Determinacion de tamaño de parcelas para ensayos comparativos de rendimiento. **Revista Argentina de Agronomía**, Buenos Aires, v. 23, n. 12, p. 26-28, 1945.

DIAS, K. O. G. et al. Tamanho de parcela e efeito de bordadura no melhoramento de *Urochloa ruziziensis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 48, n. 11, p.1426-1431, nov. 2013. FapUNIFESP (SciELO). Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2013001100002>.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; FRACASSO, J. V.; COSTA, V. P.; ANJOS, I. A.; LOPES, D. O. P. Reação de cultivares de cana-de-açúcar à broca dos colmos. **Bragantia**, Campinas, v. 72, p. 29-34, 2013.

DINARDO-MIRANDA, L. L. et al. Influência da infestação de *Diatraea saccharalis* (Fabr.) sobre parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 3, p.342-345, 26 out. 2012. FapUNIFESP (SciELO). Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s0006-87052012005000030>.

DINARDO-MIRANDA, L. L. **Nematoides e pragas da cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2014. 400 p.

DINARDO-MIRANDA, L. L. Pragas. In: DINARDOMIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. p. 349-404.

DIOLA, V.; SANTOS, F. Fisiologia. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. **Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e álcool: tecnologias e perspectivas**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2010. p. 25-49.

DONATO, S. L. R. et al. Estimativas de tamanho de parcelas para avaliação de descritores fenotípicos em bananeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 8, p.957-969, ago. 2008. FapUNIFESP (SciELO). Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2008000800003>.

FAOSTAT (Ed.). **Data: production: crops**. 2016. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data>>. Acesso em: 01 fev. 2018.

FEDERER, W. T. **Experimental design**: theory and application. 2nd. ed. New York: Macmillan Company, 1963. 544 p.

GARCIA, C. H. **Tabelas para classificação do coeficiente de variação**. Piracicaba: IPEF, 1989. 12 p. (Circular técnica, 171).

GASCHO, G. J.; SHIH, S. F. Sugarcane. In: TEARE, I. D.; PEET, M. M. (Ed.). **Crop-water relations**. New York: Wiley-Interscience, 1983. p. 445-479.

GONZÁLEZ, G. G. H. **Estimação do tamanho ótimo de parcelas com aplicação na cultura da soja**. 2013. 85 f. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

HATHEWAY, W. H.; WILLIAMS, E. J. Efficient estimation of the relationship between plot size and the variability of crop yields. **Biometrics**, Washington, v. 14, n. 2, p. 207-222, 1958.

HATHEWAY, W. H. Convenient plot size 1. **Agronomy Journal**, Madison, v. 53, n. 4, p. 279-280, 1961.

HITCHCOCK, A.S. **Manual of the grasses of the United States**. Washington, DC: USDA Miscellaneous Publication, 1950

IGUE, T. et al. Tamanho e forma de parcela experimental para cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 50, n. 1, p. 163-180, 1991. FapUNIFESP (SciELO). Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s0006-87051991000100016>.

LANDELL, M. G. A. et al. Validação de métodos de amostragem para a estimativa da produção de cana-de-açúcar, em áreas de colheita mecanizada. **Stab**, Piracicaba, v. 18, n. 2, p. 48-51, 1999.

LEITE, M. S. O. **Tamanho da amostra para seleção de famílias de cana-de-açúcar**. 2007. 51 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

LESSMAN, K. J.; ATKINS, R, E, Optimum plot size and relative efficiency of lattice designs for grain sorghum yield test. **Crop Science**, Madison, v. 3, p. 477-481, 1963.

LIMA, L. L.; NUNES, G. H. S.; BEZERRA NETO, F. Coeficientes de variação de algumas características do meloeiro: uma proposta de classificação. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 22, n. 1, p. 14-17, mar. 2004. FapUNIFESP (SciELO). Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-05362004000100003>.

LOPES, S. J. et al. Técnicas experimentais para tomateiro tipo salada sob estufas plásticas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 2, n. 28, p. 193-197, 1998.

MACEDO, N.; MACEDO, D. As pragas de maior incidência nos canaviais e seus controles. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 1, n. 1, p. 38-46, 2004.

MACHADO, S. A.; ALBERTINI, W. Comparação de quatro métodos de medição num bosque tropical. **Turrialba**, San José, v. 23, n. 1, p. 72-87, 1973.

MARTIN, T. N. et al. Tamanho ótimo de parcela e número de repetições em soja (*Glycine max* (L.) merril). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 2, p. 271-276, 2005.

MEIER, V. D.; LESSMAN, K. J. Estimation of optimum field plot shape and size for testing yield in *Crambe abyssinica* Hochst. **Crop Sci.**, Madison, v. 11, p. 648-650, 1971.

OLIVEIRA, A. P. P. de et al. Sistemas de colheita da cana-de-açúcar: conhecimento atual sobre modificações em atributos de solos de tabuleiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 9, p. 939-947, set. 2014. FapUNIFESP (SciELO). Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n09p939-947>.

OLIVEIRA, A. R. de et al. Análise Biométrica de Cultivares de Cana-de-Açúcar Cultivadas Sob Estresse Hídrico no Vale do Submédio São Francisco. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 31, n. 1, p. 48-58, 20 abr. 2016. EIA Energy in Agriculture. Doi: <http://dx.doi.org/10.17224/energagric.2016v31n1p48-58>.

PANNUTI, L. E. R. et al. Danos do complexo broca-podridão à produtividade e à qualidade da cana-de-açúcar fertirrigada com doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 48, n. 4, p. 381-387, abr. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2013000400005>.

PARANAÍBA, P. F.; FERREIRA, D. F.; MORAIS, A. R. Tamanho ótimo de parcelas experimentais: proposição de métodos de estimação. **Revista Brasileira de Biometria**, [S. l.], v. 27, n. 2, p. 255-268, 2009.

PEIXOTO, A. P. B. **Estimativa do tamanho de parcela para experimentos de conservação in vitro de maracujazeiro**. 2009. 81 f. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

PEIXOTO, A. P. B.; FARIA, G. A.; MORAIS, A. R. Modelos de regressão com platô na estimativa do tamanho de parcelas em experimento de conservação in vitro de maracujazeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 11, n. 41, p. 1907-1913, nov. 2011.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: Esalq, 2009. 477 p.

PROCANA BRASIL (Org.). **Anuário da Cana 2016**. [S. l.]: Procana Brasil, 2016. 282 p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**, Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2015.

RODRIGUES, E. B. **Comparação técnico-econômica da colheita de cana-de-açúcar na região de Bandeirantes – PR**. 2008. 130 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

SAIANI, C. C. S.; PEROSA, B. B. Saúde respiratória e mecanização da colheita da cana-de-açúcar nos municípios paulistas: a importância do protocolo agroambiental. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, [S. l.], v. 54, n. 1, p. 29-50, mar. 2016. FapUNIFESP (SciELO). Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1234-56781806-9479005401002>.

SCOLFORO, J. R. et al. Suficiência amostral para vegetação dos fragmentos amostrados. In: SCOLFORO, J. R.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, A. D. (Ed.). **Inventário florestal de minas gerais: cerrado - florística, estrutura, diversidade, similaridade, distribuição diamétrica e de altura, volumetria, tendências de crescimento e áreas aptas para manejo florestal**. Lavras: UFLA, 2008. Cap. 4, p.171-188.

SCOLFORO, J. R.; CHAVES, A. L.; MELO, J. M. Definição do tamanho de parcela para inventário florestal em floresta semidecídua montana. In: CONGRESSO FLORESTAL PAN-AMERICANO, 1.; CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBS/SBEF, 1993. p. 333-337.

SEGATO, S. V. et al (Org.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: Livroceres, 2006. 415 p.

SILVA, L. F. O. et al. Tamanho ótimo de parcela para experimentos com rabanetes. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 59, n. 5, p. 624-629, 2012.

SILVA, J. A. A. et al. Estimativa da suficiência amostral para avaliar intensidade de infestação da *Diatraea* spp. em cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 32, n. 10, p. 1003-1007, 1997.

SILVA, J. P. N; SILVA, M. R. N. **Noções da cultura da cana-de-açúcar**. Inhumas: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2012. 106 p.

SMITH, H. Fairfield. An empirical law describing heterogeneity in the yields of agricultural crops. **The Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 28, n. 1, p. 1-23, 1938.

STORCK, L. et al. Tamanho Ótimo de Parcela em Experimentos com Milho Relacionado a Metodologias. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 5, n. 1, p. 48-57, abr. 2006. Doi: <http://dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v5n1p48-57>.

STORCK, L.; GARCIA, D. C.; LOPES, S. J. **Experimentação vegetal**. 3. ed. Santa Maria: Editora UFSM, 2011. 200 p.

VALLEJO, R. L.; MENDOZA, H. A. Plot technique studies on sweetpotato yield trials. **Journal of American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 117, n. 3, p. 508-511, 1992.

VALSECHI, O. et al. Correlação entre os números de gomos da cana-de-açúcar externamente perfurados e o de internódios internamente danificados pela broca. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v. 17, p. 293-345, 1960. FapUNIFESP (SciELO). Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s0071-12761960000100027>.

VENDRAMIM, J. D. et al. Comparação entre dois métodos para avaliação da infestação pelo complexo broca-podridões em cultivares de cana-de-açúcar. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v. 45, p. 397-421, 1988. FapUNIFESP (SciELO). Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s0071-12761988000100025>.

VIANA, A. E. S. et al. Estimativas de tamanho de parcela em experimentos com mandioca. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 20, n. 1, p. 58-63, mar. 2002. FapUNIFESP (SciELO). Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-05362002000100011>.