



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS I - CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ESTATÍSTICA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM BACHARELADO EM ESTATÍSTICA

ROSANGELA BEZERRA DA SILVA

DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE PARCELAS PELO MÉTODO DO  
PLATÔ LINEAR DE RESPOSTA.

CAMPINA GRANDE-PB

2023

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S586d Silva, Rosangela Bezerra da.  
Determinação do tamanho de parcelas pelo método do platô linear de resposta [manuscrito] / Rosangela Bezerra da Silva. - 2023.  
37 p. : il. colorido.

Digitado.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Estatística) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2023.  
"Orientação : Profa. Dra. Ana Patrícia Bastos Peixoto, Coordenação do Curso de Estatística - CCT. "

1. Coeficiente de variação. 2. Modelo de regressão. 3. Ensaio de uniformidades. I. Título

21. ed. CDD 519.5

**ROSANGELA BEZERRA DA SILVA**

**DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE PARCELAS PELO MÉTODO DO  
PLATÔ LINEAR DE RESPOSTA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Bacharelado em Estatística do Departamento de Estatística do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Estatística.

**Área de concentração:** Estatística.

**Orientador:** Profa. Dra. Ana Patricia Bastos Peixoto.

**CAMPINA GRANDE-PB**

**2023**

ROSANGELA BEZERRA DA SILVA

DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE PARCELAS PELO MÉTODO DO  
PLATÔ LINEAR DE RESPOSTA.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Bacharelado em Estatística do Departamento de Estatística do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Estatística.

Área de concentração: Estatística.

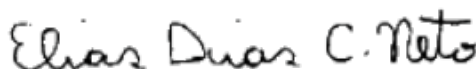
Aprovada em: 04/12/2023.

BANCA EXAMINADORA



---

Profa. Dra. Ana Patrícia Bastos Peixoto (Orientador)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



---

Prof. Elias Dias Coelho Neto  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



---

Prof. Elias Dias Coelho Neto  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, Meu pai Eterno, por segurar forte pela mão e não me deixar desistir diante dos obstáculos enfrentados até aqui. Que sempre está presente em minha vida e foi responsável por esta conquista.

Ao meu esposo, Rodolfo Mendes de Souza que sempre me ajudou para que eu chegasse até o final dessa jornada, me apoiando e acompanhando durante a caminhada, me dando força e direcionamento durante toda a trajetória.

À minha mãe, quem sempre me entendeu quando não estava presente nas reuniões de família.

Ao meu filho Rodolfo Junior, pelas diversas vezes que fui ausente e contei com sua compreensão.

Ao meu sobrinho Tallysson Suerlan, em especial, que desde o início do curso me incentivou a cursar na busca desta conquista e para que concluísse a graduação.

À todos os professores e mestres, do Curso de Estatística que me ensinaram, os quais se mostraram pacientes e dispostos a ajudarem durante todas as dificuldades que existiam.

À minha orientadora, Profa, Dra Ana Patrícia pela excelente orientação durante todo o trabalho, mostrando-se paciente e transmitindo seus ensinamentos e experiências acerca do assunto.

Aos meus amigos de curso de Estatística, que entre riscos e dificuldades conseguimos chegar ao término do curso.

Em especial ao minha amiga Rayza, que nunca nos separamos durante esta trajetória árdua.

“Hoje sou uma pessoa mais capaz e realizada, mas nem por isso esqueço quem esteve ao meu lado. A vocês a minha gratidão!” (Autor desconhecido)

## RESUMO

A determinação do tamanho de parcelas em qualquer cultura, é uma das maneiras de se aumentar a precisão experimental e maximizar as informações obtidas em um experimento. Através do método de regressão linear de platô o tamanho ótimo da parcela é obtido no ponto de transição entre as duas partes do modelo, que corresponde ao menor tamanho da parcela que atinge o platô. Conclui-se que os tamanhos de parcelas variaram com o método utilizado, encontrando-se estimativas de 10 a 18 unidades básicas. O processo envolve a coleta de dados experimentais, onde diferentes tamanhos de parcelas são testados, e a resposta da variável é registrada. A determinação do tamanho ideal da parcela ocorre no ponto em que a adição de mais observações não contribui significativamente para a melhoria da precisão das estimativas. Esse método visa equilibrar a necessidade de coletar dados suficientes para uma boa estimativa com a minimização do desperdício de recursos.

**Palavras-chave:** coeficiente de variação; modelo de regressão; ensaios de uniformidades.

## ABSTRACT

Determining the size of plots in any crop is one of the ways to increase experimental precision and maximize the information obtained in an experiment. Using the plateau linear regression method, the optimal plot size is obtained at the transition point between the two parts of the model, which corresponds to the smallest plot size that reaches the plateau. It is concluded that plot sizes varied depending on the method used, with estimates of 10 to 18 basic units. The process involves collecting experimental data, where different plot sizes are tested, and the response of the variable is recorded. Determining the optimal plot size occurs at the point where adding more observations does not contribute significantly to improving the precision of the estimates. This method aims to balance the need to collect enough data for a good estimate with minimizing wasted resources.

**Keywords:** coefficient of variation; regression model; uniformity tests.



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1– Integração dos conceitos de amostragem, delineamento e generalização.. 17
- Figura 2– Relação entre o coeficiente de variação  $CV(x)$  da altura e tamanho de parcela ( $X_c$ ) em unidades básicas nos tratamentos 1 a 8 na cultura do jatobá. . . . . 28

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Tamanho da parcela ( $X$ ), forma da parcela e número de parcelas totais para o ensaios de uniformidade . . . . .	25
Tabela 2– Resumo dos coeficientes de variação e os tamanhos de parcelas, ao longo do tempo. . . . .	26
Tabela 3– Estimativas dos parâmetros do modelo segmentado linear com resposta em platô, do platô de resposta equivalente 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 os diferentes tratamentos da cultura do jatobá . . . . .	27

# SUMÁRIO

	Página
<b>1</b>	<b>Introdução</b> <b>10</b>
<b>2</b>	<b>Revisão da Literatura</b> <b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>Técnicas de Amostragem</b> . . . . . 13
<b>2.2</b>	<b>Métodos para estimação do tamanho da parcela experimental</b> . . 18
2.2.1	Método da Maxima Curvatura . . . . . 20
2.2.2	Método da Maxima Curvatura modificado . . . . . 21
2.2.3	Método da correlação intraclasse . . . . . 22
2.2.4	Método da Máxima Distância . . . . . 22
2.2.5	Método de Hatheway(1961). . . . . 23
2.2.6	Modelo logarítmico com resposta platô (MLOP) . . . . . 23
2.2.7	Modelo de regressão linear com platô . . . . . 24
<b>3</b>	<b>Aplicação</b> <b>25</b>
<b>4</b>	<b>Conclusão</b> <b>31</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> <b>32</b>

## 1 Introdução

O planejamento experimental oferece métodos para a determinação do tamanho das parcelas e do número de repetições em diversas áreas da pesquisa, o qual desempenha um papel fundamental no desenvolvimento de novos projetos e no aprimoramento de processos em uso. Além de contribuir para a redução do tempo de análise e dos custos associados, ele também avalia a variabilidade dos resultados. Como resultado, a maioria dos métodos utilizados para estimar o tamanho ideal das parcelas é baseada em experimentação (BUSSAD, 2005 p. 35).

Para planejar e conduzir pesquisas de maneira eficaz, conforme Fisher (1925), é importante uma compreensão clara dos problemas científicos de interesse. Além disto, a população que será objeto do estudo deve ser definida com precisão. Neste contexto, população refere-se a todos os membros de um grupo claramente definido que partilham pelo menos uma característica comum. A área de amostragem é dedicada à seleção e composição de uma amostra representativa da população. Várias técnicas e procedimentos são utilizadas para conseguir isso. A composição da amostra depende de critérios que visam garantir a qualidade e a quantidade dos dados recolhidos. Portanto, para conduzir pesquisas de forma eficiente, é fundamental definir claramente os problemas científicos de interesse e definir com precisão a população de estudo, levando em consideração a variabilidade e os recursos disponíveis (Dickey, 1980).

Para determinar o tamanho ideal das parcelas, é necessário analisar vários aspectos. A função dessa análise é adaptar o tamanho das parcelas conforme a estrutura do campo que está sendo inventariado, garantindo que o tamanho mínimo seja capaz de explicar com precisão essa estrutura experimental. Em um mesmo experimento e com a mesma intensidade, é possível inferir que unidades menores resultarão em maiores coeficientes de variação (Lopes et al., 2004). O tamanho ótimo da parcela está diretamente relacionado à instalação e medição no campo, devendo ser dimensionado para representar adequadamente o fenômeno em estudo. Além disto, é importante considerar um tamanho que permita a otimização das operações de campo.

A escolha do método mais adequado para estimar o tamanho da parcela depende das características da cultura, do solo, do delineamento experimental e dos objetivos da pesquisa. Em geral, recomenda-se comparar os resultados obtidos por diferentes métodos e verificar a sua consistência e viabilidade. Além disto, é importante realizar uma análise de sensibilidade para avaliar o efeito de variações no tamanho da parcela sobre as conclusões do experimento (Steel e Torrie, 1960).

O método proposto por Smith (1938) é considerado o precursor de vários outros métodos para a determinação do tamanho de parcelas. O método para determinar o tamanho de parcelas com base numa relação empírica entre a variância de parcelas de

diferentes tamanhos e o tamanho da própria parcela. Outros métodos para estimar o tamanho ótimo da parcela são baseados em critérios de eficiência, que considera a relação entre o custo e a precisão do experimento, levando em conta a variabilidade espacial do solo e a correlação entre as parcelas.

É importante escolher (Rossetti e Pimentel-Gomes, 2005) um tamanho de parcela adequado, que minimize o erro experimental e maximize a informação obtida. Neste trabalho, será apresentado o método de regressão linear com platô, que é uma técnica para estimar o tamanho ótimo da parcela experimental, baseado na relação entre o coeficiente de variação e o tamanho da parcela. Serão descritos os procedimentos para aplicar o método, utilizando um banco de dados de ensaio, Serão analisados os resultados obtidos pelo método utilizado.

De acordo com Donato et al. (2008), o tamanho de parcela experimental baseado no método de regressão linear de platô é obtido quando o coeficiente de variação (CV) se estabiliza em um valor mínimo, indicando que o aumento do tamanho da parcela não traz ganhos significativos de precisão. Esse método utiliza um modelo de regressão linear segmentado com platô, que ajusta uma reta crescente até um ponto de inflexão, onde o CV assume um valor constante. O tamanho de parcela ótimo é dado pelo valor da abscissa correspondente ao ponto de inflexão. Conforme Cargnelutti Filho et al. (2014), o tamanho ótimo da parcela utilizando o método da regressão linear com resposta a platô, mostrou-se adequado para determinar o tamanho ótimo de parcelas experimentais para o experimento de repolho, concludo o tamanho adquado sendo de 20 plantas por parcela útil. De acordo com o artigo de Paranaíba et al. (2009), o método de regressão linear de resposta a platô foi usado para estimar o tamanho ótimo da parcela experimental para o abacaxizeiro 'Vitória', considerando diferentes características dos frutos e das folhas, como comprimento, diâmetro, massa e teores de N, P e K. Encontrou-se de 15 a 20 unidades experimentais por parcela, para as características dos frutos e das folhas. Segundo Rossetti (1979), O método regressão linear do platô, consiste em ajustar uma função linear por partes, com um ponto de mudança, aos dados de coeficiente de variação (CV) em função do tamanho da parcela. O tamanho ótimo da parcela é aquele que corresponde ao ponto de mudança, ou seja, o ponto em que o CV deixa de diminuir com o aumento da parcela e passa a se estabilizar. Encontrou-se tamanhos ótimos de parcela variando de 4 a 16 unidades básicas para experimentos como eucalipto, seringueira, cacaueteiro e café.

Diante dos fatos apresentados, o material experimental para este estudo foi conduzido em condições de cultivo protegido, na UNESP, Ilha Solteira, São Paulo. Os tratamentos foram constituídos por 04 doses de macrófitas equivalentes a 0; 8; 16 e 32  $t.ha^{-1}$  e 04 doses de cinza equivalentes a 0; 15; 30 e 45  $t.ha^{-1}$  e suas combinações, produzindo 16 tratamentos, que terão 7 repetições cada um. As sementes de jatobá foram semeadas em bandejas contendo areia lavada, em condição de cultivo protegido, e as plântulas foram transplantadas para os sacos plásticos, contendo os tratamentos aos 60 dias, nesta etapa

serão irrigadas diariamente com água deionizada e serão avaliadas mensalmente para altura e clorofila, a cada dois meses para diâmetro de caule. Serão mostrados exemplos de aplicação do método em diferentes culturas e características, bem como uma comparação com outros métodos de estimação do tamanho da parcela, (NETO, 2012).

O trabalho está organizado em quatro partes, além desta introdução e da conclusão. A primeira parte aborda os conceitos e as técnicas de amostragem, explicando os tipos de população, de amostragem e de delineamento experimental. A segunda parte trata dos fatores que influenciam o tamanho da amostra e da parcela, apresentando as fórmulas e os cálculos para a determinação desses parâmetros. A terceira parte compara os métodos para estimar o tamanho da parcela em experimentos agrícolas, destacando suas vantagens e desvantagens. A quarta parte aplica os conceitos e as técnicas de amostragem e de estimação do tamanho de parcelas em casos práticos, através do método de regressão linear com platô, ilustrando os procedimentos e os resultados. A conclusão sintetiza os principais pontos abordados no trabalho e apresenta as considerações finais sobre o tema.

## 2 Revisão da Literatura

Para uma melhor compreensão do assunto abordado, nesse capítulo serão introduzido conceitos relacionados a técnicas de amostragem e estimação do tamanho de parcelas.

### 2.1 Técnicas de Amostragem

Para planejar e executar uma pesquisa de maneira eficaz, é essencial ter uma compreensão clara dos problemas científicos de interesse. Além disso, é necessário definir com precisão a população que será objeto de estudo. A população, nesse contexto, refere-se a todos os membros de um grupo claramente definido que compartilham pelo menos uma característica em comum. É importante notar que a população pode ser categorizada como finita ou infinita, e, em certos delineamentos de pesquisa, é possível diferenciar entre a população-alvo (aquela que realmente desejamos estudar) e a população externa (a população total à qual nossa pesquisa se aplica) (ANUNCIACÃO, 2021, p.12).

Quando um estudo considera todos os participantes de interesse, ele é chamado de censitário. No entanto, existem muitas situações em que a realização de um censo é impraticável. Mesmo quando é possível, fatores como custo, acesso e o tempo necessário para conduzir um estudo desse tipo frequentemente tornam sua execução inviável (VIANA, 2002 p. 58-63) A área de amostragem se dedica à seleção e composição de uma amostra representativa da população. Para isso, são empregadas diversas técnicas e procedimentos. A composição da amostra depende de critérios que visam assegurar tanto a qualidade quanto a quantidade dos dados coletados. Portanto, (Silva et al., 1998) , para conduzir uma pesquisa de forma eficiente, é crucial identificar claramente os problemas científicos de interesse e definir a população de estudo de maneira precisa, levando em consideração a viabilidade e os recursos disponíveis. A amostragem desempenha um papel fundamental na obtenção de resultados confiáveis, garantindo que a amostra selecionada seja representativa da população em questão (SILVA, 2012, p. 624-629).

Amostragem é o conjunto de operações que busca obter uma amostra representativa de uma determinada população ou universo ao todo. A amostragem pode ser probabilística ou não probabilista. Onde na amostragem probabilística são realizados os procedimentos de forma a garantir que os elementos todos da população há uma probabilidade conhecida de incluir-se a amostra; e esta probabilidade é superior a zero. Esse é o caso mais comum das operações de amostragem, em que o objetivo básico é a obtenção de amostras representativas do universo (Bolfarine, 2000).

As amostragem probabilística são classificadas em:

- i) A amostra aleatória simples é um subconjunto de indivíduos selecionado de um conjunto maior de modo que um subconjunto de indivíduos é escolhido aleatoriamente. Onde cada elemento da população alvo tem a mesma probabilidade de serem seleci-

onados, pois essa seleção é baseado em forma de sorteio. É um processo de escolher uma amostra de forma aleatória.

- ii) A amostragem estratificada é um método de amostragem que considera uma população que pode ser separada em subpopulações. Quando as subpopulações têm características diferentes, pode ser útil amostrar cada subpopulação de forma independente. A estratificação é o processo de separar os membros da população em subgrupos que sejam semelhantes entre si antes da amostragem. Os estratos devem formar uma divisão da população. Ou seja, devem ser completos e exclusivos: cada membro da população deve pertencer a um e somente um estrato. Quando se quer ter estimativas de parâmetros populacionais para grupos dentro da população, a amostragem estratificada tem a vantagem de verificar se as amostras dos estratos de interesse são suficientes.

A amostragem estratificada, tem como desvantagem quando a população não pode ser exaustivamente particionada em subgrupos disjuntos. Se a variação entre os subgrupos for suspeita de ser relevante para justificar uma amostragem estratificada, os dados que correspondem a cada subgrupo são tratados com a mesma importância. O problema da amostragem estratificada Rossi (2020), no caso de classes a priori desconhecidas pode ter efeito deletério no desempenho de qualquer análise no conjunto de dados. A razão de amostragem minimax pode ser utilizada para transformar o conjunto de dados robusto em relação à incerteza no processo de geração de dados subjacente.

A média e a variância da amostragem aleatória estratificada são dadas por:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{h=1}^{N_h} N_h \bar{x}_h, \quad (2.1)$$

e

$$S^2_x = \left( \frac{N_h}{N} \right)^2 \sum_{h=1}^L \frac{(N_h - n_h)}{N_h} \frac{s_h^2}{n_h}, \quad (2.2)$$

em que,  $L$  é número de estratos;  $N$  é a soma de todos os tamanhos de estratos;  $N_h$  é o tamanho do estrato;  $\bar{x}_h$  é a média amostral do estrato  $h$ ;  $n_h$  igual ao número de observações no estrato  $h$ ;  $s_h^2$  igual ao desvio padrão da amostra do estrato  $h$ .

- iii) A amostragem sistemática é um método estatístico que envolve a seleção de elementos a partir de um grupo de amostragem ordenado. Neste método, cada elemento na população tem uma probabilidade conhecida e igual de seleção. Isso torna a amostragem sistemática funcionalmente semelhante à amostragem aleatória simples. A amostragem sistemática segundo (Silva, 2021, p. 23), só deve ser aplicada se a população for logicamente homogênea, pois as unidades amostrais sistemáticas estão uniformemente distribuídas pela população.



O pesquisador, deve garantir que na amostragem sistemática o intervalo de amostragem escolhido não oculte um padrão. A partir do grupo de amostragem, um ponto de partida é escolhido aleatoriamente e as escolhas subsequentes são em intervalos regulares. Em seguida sua forma de ser calculado:

$$K = \frac{N}{n}, \quad (2.3)$$

em que,  $n$  é o tamanho da amostra;  $N$  é o tamanho da população.

iv) Para Bussab (2005) Amostragem Conglomerados, é um método probabilístico em que a população é dividida em grupos com base em sua localização geográfica. A seguir, uma amostra grupos são selecionadas de forma natural. É importante que cada grupo seja o mais heterogêneo possível, escolhendo indivíduos diferentes entre si, mas que caracterizem aquele grupo específico como um todo. A população encontra-se localizada em conglomerados naturalmente. Estes conglomerados consiste em ruas, bairros ou empresas, e são assumidos como heterogêneos. Os conglomerados obtêm identificações que, por sua vez, são sorteadas. Suas vantagens são quando a identificação dos elementos da população é difícil, os conglomerados aparecem como solução, e a população já está dividida naturalmente.

A amostragem por conglomerados pode ser representada pelo coeficiente de correlação entre os conglomerados ( $\delta$ ), definido como o coeficiente de correlação linear entre todos os pares de valores das variáveis do estudo, medidos através das unidades dos conglomerados e entre todos os grupos. Em síntese, o coeficiente é uma medida de homogeneidade dentro de clusters. O coeficiente de homogeneidade quanto menor entre conglomerados ( $\delta$ ), maior eficiência terá a amostragem por conglomerado. Além, de os conglomerados sejam heterogêneos como a amostra total, de modo que a seleção de um conglomerado nos forneça a mesma informação que a seleção dos indivíduos da população aleatória total.

A comparação entre a amostra aleatória simples com a amostragem por conglomerados, se ( $\delta$ ) = 0, pode-se afirmar que os métodos são equivalentes. Esta condição implica que os clusters são heterogêneos como a população total. Ou seja o pior caso seria ( $\delta$ ) = +1, e o caso mais favorável seria ( $\delta$ ) =  $-\frac{1}{M-1}$ , onde  $M$  é o tamanho do conglomerado. No entanto, ( $\delta$ ) normalmente será sempre maior do que 0 (zero), pois um conglomerado sempre tem alguma semelhança uns com os outros.

Pode-se observar o impacto deste problema é calcular o tamanho da amostra necessário para adquirir a mesma precisão de amostragem aleatória simples. Seria a expressão seguinte:

$$n_c = n_a(1 + (M - 1)\delta), \quad (2.4)$$

em que,  $n_c$  é o tamanho da amostra por conglomerado e  $n_a$  é o tamanho da amostra

necessária para a amostragem aleatória simples. Portanto,  $(1 + (M - 1)\delta)$  é a variação do tamanho da amostra necessária devido ao uso de aglomerados.

A amostragem não probabilística poderá ser realizada com objetivos específicos, ou intencional, regida por critérios de conveniência e/ou de disponibilidade do investigador. De acordo com Neto (2002), amostragem por conveniência, a amostra é realizada pelos participantes que o pesquisador tem maior acesso. Enquanto a Amostragem por auto-seleção os participantes voluntariamente solicitar-se para participar da pesquisa. E a Amostragem intencional o pesquisador decide quem irá compor a amostra, existe uma etapa em que os especialistas são convidados para opinar sobre características dos testes. Amostragem por bola de neve, este tipo de amostragem, o pesquisador identifica um participante de interesse que, conseqüentemente, indica outros participantes para pesquisa. Amostragem por quotas, tende a ter um rigor mais elevado dentro das técnicas não-probabilísticas. Na amostragem por quotas, a classes populacionais é definida pelo pesquisador e, determina a proporção da população para cada classe. Sua vantagem pode ser aplicada de maneira fácil e tende a ser executada rapidamente. Apresenta um maior rigor dentro do conjunto dos métodos não-probabilísticos e as desvantagens são similares à amostragem por conveniência.

Para decisão do tipo de plano amostral, é necessário que o pesquisador defina quantos participantes irão participar para construir a amostra, do tamanho da população. Uma das principais características da população que entra em cena para compor um tamanho amostral é a variabilidade do fenômeno a ser investigado. Por oposição, fenômenos heterogêneos solicita-se que o tamanho amostral seja maior. Existem várias formas de se realizar o cálculo do tamanho da amostra.

Quando descritivo, conforme Bussab (2005), existe um sistema fechado de equações que auxiliam no cálculo amostral. Quando teste de hipóteses são esperado, quase sempre, pesquisadores contam com heurísticas acadêmicas e também fazem um cálculo chamado de poder do teste. Esse cálculo tem como objetivo otimizar o tamanho da amostra para evitar erros do tipo 1 ou 2. A definição da amostra depende de uma característica importante, que é o tamanho populacional. A amostra abrange quase que a totalidade dos elementos para populações pequenas. A relação entre tamanho populacional e tamanho amostral pode ser apresentado por uma função logarítmica. O tipo de amostragem e as possíveis perdas de elementos da amostra também influência no tamanho amostral. É possível ajustar todos os conceitos em equações específicas para o cálculo do tamanho amostral. As fórmulas são diferentes e não seria muito eficaz mostrar todas as fórmulas ou eleger uma ou outra equação de maior uso para colocar nesta parte.

A finalidade de uma pesquisa, na maioria das vezes, não é somente descritiva, isto é, de apresentar os resultados apenas para os participantes amostrados. O pesquisador, com frequência, quer generalizar os resultados da amostra para a população que ela representa. A validade externa de uma pesquisa é a capacidade de fazer essa generalização e depende

muito do tipo de amostragem escolhido. Portanto, por detrás desta mecânica das análises inferenciais, admite que os dados vieram de uma amostra aleatória representativa e quando amostras não representativas são acessadas, vieses são esperados.

Figura 1 – Integração dos conceitos de amostragem, delineamento e generalização..

		Tipo de delineamento		
		Randomização dos participantes	Sem randomização dos participantes	
Tipo de amostragem	Amostragem aleatória	Inferências com evidências de causalidade e generalizáveis à população	Inferências sem evidências de causalidade, mas generalizáveis à população	Possibilidade de generalização
	Amostragem não-aleatória	Inferências com evidências de causalidade, mas não generalizáveis à população	Inferências sem evidências de causalidade e não generalizáveis à população	Impossibilidade Dificuldade de generalização
		Sugere relação de causa-efeito	Sem relação de causa-efeito (modelos de correlação)	

Fonte: Anunciação (2021).

No planejamento de experimentos, o pesquisador está preocupado em estimar, com a maior precisão possível, o efeito dos tratamentos sobre o material a ser investigado. Os testes de significância baseados no erro experimental são usados para estimar as diferenças entre os tratamentos. Segundo Steels(1997), o erro experimental é definido como a variação devida aos efeitos de fatores não controlados, que ocorrem de maneira aleatória ou ao acaso.

Conforme Fisher (1960), a precisão de um experimento está diretamente ligada ao erro experimental. Independentemente do ambiente em que a experimentação será realizada, o planejamento experimental deve ser conduzido com o objetivo de reduzir o erro experimental. Uma medida do erro experimental é a variação que ocorre entre unidades experimentais que receberam o mesmo tratamento, e essa variação é estimada por meio da utilização da repetição, um dos princípios fundamentais da experimentação.

Com o objetivo de reduzir o erro experimental e aumentar a confiabilidade dos resultados, alguns requisitos básicos devem ser atendidos, tais como: o uso de um número adequado de repetições, a seleção criteriosa dos tratamentos, a consideração da heterogeneidade do material experimental, a determinação do número de plantas por parcela, a escolha adequada do tipo de tratamento aplicado, a implementação de tratos culturais apropriados, o manejo e controle de pragas, doenças e plantas daninhas, a realização de amostragens nas parcelas e, principalmente, a avaliação da heterogeneidade das unidades experimentais, Lopes,(2005); Gomez,(1984); Lopes,(1995); Steels,(1997); Storck,(2000).

Em essência, os diversos métodos estabelecem uma relação entre o tamanho da parcela e a variação residual. Alguns autores têm demonstrado uma relação inversa entre o tamanho da parcela e o erro experimental, (Steel e Torrie,(1980); (Smith, 1938); (Hatheway,1961); (Dickey,1977). O uso de parcelas maiores tem sido associado à utilização de um menor número de repetições, o que, de acordo com (Rossetti,1986) e (Pimentel,2000), pode representar um risco para a precisão experimental. Isso ocorre porque, para uma mesma área, o aumento na precisão é mais significativo com o aumento do número de repetições do que com o aumento no tamanho da parcela. Uma estratégia para minimizar o erro experimental envolve a utilização de um maior número de repetições em combinação com parcelas menores. Em princípio, quanto maior o número de repetições, mais confiáveis serão os resultados experimentais.

## 2.2 Métodos para estimação do tamanho da parcela experimental

A maioria dos experimentos agrícolas realizados para determinar o tamanho apropriado das parcelas para diferentes culturas emprega ensaios de uniformidade ou ensaios em branco. A partir desses ensaios, são calculadas a variância e o coeficiente de variação para as diferentes dimensões das parcelas, os quais são utilizados como medidas de variabilidade desses experimentos. Um ensaio em branco envolve o plantio de um único material genético em toda a extensão da área experimental, sujeitando toda a área a práticas culturais idênticas. Posteriormente, esse ensaio é dividido em um certo número de unidades básicas, ou parcelas pequenas, nas quais as características desejadas, são avaliadas. Isso permite que as produções das unidades contíguas sejam somadas para formar parcelas de diferentes tamanhos.

O método proposto por Smith,(1938) é considerado o precursor de vários outros métodos para a determinação do tamanho de parcelas, o autor propôs um método para determinar o tamanho de parcelas com base em uma relação empírica entre a variância de parcelas de diferentes tamanhos e o tamanho da própria parcela. Para tanto, foi estabelecida a seguinte equação:

$$V_x = V_1/X^b,$$

na qual  $V_x$  é a variância entre as parcelas de  $X$  unidades básicas,  $V_1$  é a variância entre parcelas de tamanho igual a uma unidade básica,  $X$  é o tamanho da parcela, em unidades básicas e  $b$  é o coeficiente de regressão ou de heterogeneidade do solo, ou índice de variabilidade do material experimental. O valor de  $b$  baseia-se numa relação empírica entre o tamanho da parcela e a sua variância, estabelecendo uma dependência negativa, de modo que quando o tamanho da parcela aumenta a variância diminui. Este índice, também conhecido como o índice de heterogeneidade do solo Smith,(1938) varia no intervalo de 0 a 1, ( $0 \leq b \leq 1$ ). Assim, a proximidade do valor de  $b$  com a unidade indica que as parcelas não são correlacionadas, ocorrendo quando a área experimental possui alta heterogeneidade,

sugeridas nesses casos o uso de parcelas maiores. Por outro lado, a estimativa do valor de  $b$  quanto menor, indica-se que a área experimental é mais uniforme (as parcelas são mais correlacionadas umas com as outras), sugerindo-se que podem-se utilizar parcelas menores.

A estimativa deste índice, em geral, é obtida mediante o ajuste de equação de regressão linear entre o logaritmo da variância do rendimento médio de cada tamanho de parcela pré-estabelecido e o logaritmo do respectivo tamanho da parcela, expresso pelo modelo:  $\log V_x = \log V_1 - b \log(x)$  Então:

$$b = \frac{\log V_1 - \log V_x}{\log(x)}$$

Apesar de os ensaios de uniformidade e a relação empírica de Smith,(1938) terem sido amplamente utilizados, especialmente na pesquisa agrícola, algumas desvantagens são apontadas, como o custo, a demanda por mão de obra abundante e o tempo necessário para sua condução. No entanto, isso nem sempre é verdadeiro, já que em várias aplicações esses ensaios são simples e econômicos, pois não exigem a aplicação de tratamentos.

O método da máxima curvatura, um dos primeiros métodos aplicados a experimentos de campo, é especialmente adequado para dados originados de ensaios em branco. Nesse método, as unidades básicas dos ensaios de uniformidade são dispostas de modo a imitar parcelas experimentais de diversos tamanhos, a partir das quais medidas de variabilidade, como variância, coeficiente de variação ou erro padrão da média, são obtidas para cada tamanho de parcela. Em seguida, com esses valores, constrói-se um gráfico bidimensional, onde os diferentes tamanhos de parcela ( $X$ ) são representados no eixo das abscissas e os respectivos coeficientes de variação ( $CV(x)$ ) no eixo das ordenadas. O tamanho da parcela é visualmente determinado por inspeção, identificando o ponto em que a curva se estabiliza, o que corresponde ao ponto de máxima inflexão da curva resultante. Esse ponto é denominado ponto de máxima curvatura, e o valor da abscissa correspondente a ele é o tamanho ótimo da parcela.

Com o objetivo de eliminar a influência da escala dos eixos coordenados na determinação do ponto de máxima curvatura, Lessman,(1963), propuseram uma modificação no método da máxima curvatura. Essa modificação incorporou o coeficiente de heterogeneidade do solo proposto por Smith,(1938) estabelecendo uma relação entre o coeficiente de variação ( $CV(x)$ ) e o tamanho da parcela por meio de uma equação de regressão do tipo potencial, representada como  $Y = a/X^b$ , em que  $Y$  representa o coeficiente de variação e ( $X$ ) corresponde ao tamanho da parcela em unidades básicas. Essa função permite explicar a relação entre o coeficiente de variação ( $Y$ ) e o tamanho da parcela em unidades básicas ( $X$ ), possibilitando a determinação algebricamente do ponto que corresponde ao tamanho ótimo da parcela. Essa modificação foi denominada como o método da máxima curvatura modificado e foi posteriormente utilizado e refinado por Meier,(1971).

Outra metodologia que pode ser utilizada para estimar o tamanho de parcela é aquela que emprega modelos de regressão com platô de resposta. A regressão linear de platô foi desenvolvida para analisar métodos descontínuos e é classificada como uma regressão segmentada (Draper et al.,1998; Schabenberger et al., 2002). A segmentação do modelo ocorre em um único ponto, resultando em um bi-segmento. No primeiro segmento, que é descrito por uma reta crescente ou decrescente, antes da divisão do segmento, o modelo é representado por uma equação linear simples.

$$(Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \epsilon_i, \text{ se } X_i \leq X_c).$$

No segundo segmento, ocorre o modelo de platô, representado por uma constante paralela ao eixo X, ( $Y_i = P + \epsilon_i$ , se  $X_i > X_c$ ). Dessa forma,  $Y_i$ , representa a variável resposta,  $\beta_0$  é o intercepto ou constante,  $\beta_1$  é o coeficiente de regressão do primeiro segmento, e o modelo de platô apresenta apenas a constante  $P$  como parâmetro, resultando em uma reta contínua.  $X_c$  é o ponto de junção dos dois segmentos, e  $\epsilon_i$  é o erro associado ao modelo, assumido com distribuição normal e independentemente distribuído, com média 0 e variância  $\sigma_\epsilon^2$ .

O método da comparação de variâncias (Vallejo et al.,1992) utiliza dados de ensaios de uniformidade para determinar o tamanho de parcela experimental. Os tamanhos de parcela estimados por esse método dependem do critério de classificação hierárquica utilizado na análise dos dados. O método começa por adotar uma classificação hierárquica para definir os diferentes tamanhos de parcela. Em seguida, estima as variâncias para os respectivos tamanhos de parcela e, através da análise de variância, corrige e reduz essas variâncias em relação à unidade de menor nível hierárquico dentro da classificação hierárquica estabelecida, conforme proposto por (Hatheway, Frank W.; Willians, John E., 1958).

O tamanho da parcela influencia a precisão e o valor dos dados experimentais obtidos diretamente (Viana et al., 2002). Além da precisão estatística, vários outros aspectos são importantes para determinar o tamanho ideal da parcela, como o número de tratamentos, tipo de nível de tecnologia empregada e disponibilidade de área e de recursos financeiros para o cultivo. Em muitos experimentos, estratégias erradas são adotadas, como a escolha do tamanho e da forma das parcelas do experimento, o delineamento escolhido, a ausência ou presença de bordadura na parcelas, o número de repetições, entre outros fatores podem resultar em resultados duvidosos, Cargnelutti Filho et al,(2008).

### 2.2.1 Método da Máxima Curvatura

O método de Máxima Curvatura baseou-se na relação entre o coeficiente de variação obtido por diferentes tamanhos de parcelas em branco e o tamanho ótimo de parcelas, consiste na curvatura da função de resposta, que é a segunda derivada da função de médias

amostrais, é de simples aplicação, principalmente por não ser necessário agrupar unidades experimentais básicas adjacentes (Paranaíba et al., 2009).

Esse método requer apenas que se calcule o coeficiente de autocorrelação espacial de primeira ordem, a variância e a média e, com esses valores, o tamanho ótimo de parcela pode ser obtido. Com o tamanho ótimo de parcela, define-se a precisão experimental, em cenários compostos por combinações de números de tratamentos e de repetições e delineamentos. Assim, é possível fazer o planejamento experimental adequado para a precisão desejada, conforme a disponibilidade de área experimental, tempo, recursos financeiros e de mão de obra adequada (Federer, 1955, p. 23). Para isso, é preciso instalar e conduzir um experimento em branco, com a cultura de interesse. Depois, divide-se a área experimental em partes menores, chamadas de unidades básicas, das quais os dados são coletados de forma independente.

### 2.2.2 Método da Máxima Curvatura modificado

Conforme apresentado por Lessman et al.(1963), o método da máxima curvatura modificado, consiste em representar graficamente os coeficientes de variação ( $CV_{exp}$ ) de cada parcela contra os respectivos tamanhos. O método da máxima curvatura modificado, representa a relação entre o coeficiente de variação e o tamanho da parcela, com o uso da equação de regressão  $Y = aX - b$  ( $Y$  representa o coeficiente de variação experimental; e  $X$  ao tamanho da parcela corresponde). A partir da função de curvatura, determinou-se o valor da abscissa onde ocorre o ponto de máxima curvatura, conforme Meier e Lessman (1971), apresentado por meio de:

$$X_{MC} = \left[ \frac{a^2 b^2 (2b - 1)}{b - 2} \right]^{\frac{1}{2-2b}}. \quad (2.5)$$

em que,  $X_{MC}$  é valor da abscissa no ponto de máxima curvatura;  $a$  = constante da regressão; e  $b$  coeficiente de regressão.

Segundo Viana (1999), o método modificado fornece resultados mais precisos, pois estabelece uma equação de regressão para explicar a relação entre os coeficientes de variação e os respectivos tamanhos de parcelas. Visando o coeficiente de autocorrelação espacial de primeira ordem, variância amostral e média amostral das parcelas de ensaios de uniformidade.

Os resultados obtidos com base no método da máxima curvatura modificado, indica-se que o número de plantas exigido na parcela experimental tende-se a aumentar de acordo com o incremento de avaliação, independentemente da variável analisada. Tal aumento pode ser atribuí-se ao incremento da interação com o ambiente ao passar do tempo, provoca-se, assim, uma maior variação entre as parcelas.

### 2.2.3 Método da correlação intraclasse

Segundo Gomes (1984), o tamanho da parcela experimental é definido pelo número de árvores úteis ( $K$ ), que torna mínima a variância média de um tratamento para número total de árvores ( $N$ ) considerado fixo. Da análise de variância e considera-se as unidades experimentais (parcelas) com 9 plantas centrais como o ideal para determinar o tamanho da parcela, por apresentar uma bordadura completa com plantas do mesmo clone, calcula-se a estimativa do coeficiente de correlação intraclasse e o número de árvores úteis da parcela, de acordo com os procedimentos propostos por Gomes (1984):

$$K = \sqrt{\frac{2(1 - \rho)}{\rho}}, \quad (2.6)$$

sendo

$$\hat{\rho} = \frac{V_1 - V_2}{V_1 + (N - 1)V_2}, \quad (2.7)$$

em que,  $K$  o número de árvores úteis por parcela;  $\hat{\rho}$  = estimador do coeficiente de correlação intraclasse;  $V_1$  = quadrado médio de resíduo entre parcelas;  $V_2$  = quadrado médio de resíduo dentro da parcela; e  $N$  o número de árvores da parcela (9 plantas).

### 2.2.4 Método da Máxima Distância

O tamanho ótimo da parcela, estimado pelo Método da Máxima Distância, é influenciado fortemente pelo índice de heterogeneidade da produção, que mede a correlação entre as parcelas de produções contíguas. As características é de fácil aplicação, praticamente invariável à acumulação da produção em diversas colheitas, adequando-se para culturas com duas ou mais colheitas nas mesmas plantas. O método, propõe-se o ponto da máxima distância entre a curva formada pelos valores estimados com base na relação de Smith (1938), cujo domínio compreende-se o intervalo entre o menor e o maior tamanho de parcela simulada, e uma reta gerada entre os pares ordenados de menor tamanho de parcela.

O Método da Máxima Distância, parte-se de geometria formada por uma curva,  $y_c$  descrita por  $Y_c = \frac{a}{X^b}$ , e uma reta secante a esta curva,  $y_R$ , dada por  $y(R) = cx + d$ , em que  $a$  e  $b$  podem ser os parâmetros  $V_1$  e  $b$  (Smith, 1938), que originará o tamanho ótimo de parcela, pelo método denominado  $MMDV_1$  ou  $A$  e  $B$ , (Lessman & Atkins, 1963), resultando no tamanho ótimo pelo método  $MMDCV$ . e o ponto da curva  $y_C$  procura-se à maior distância da reta  $y_R$ , desde que o segmento de reta ao longo dessa distância seja perpendicular à reta  $y_R$ . O coeficiente angular  $c$  e o coeficiente linear  $d$ , ambos da reta  $y_R$ , são fixos, e podem ser obtidos a partir dos dois pontos de  $y_R$  comuns à curva  $y_C$ , Sendo o ponto em comum entre  $y_C$  e  $y_R$ , que está mais à esquerda, dado por  $(X_{CRi}, Y_{CRi})$ , e o ponto em comum mais à direita, dado por  $(X_{CRf}, Y_{CRf})$ , então  $c$  e  $d$  são expressos, respectivamente, por  $C = \frac{Y_{CR} - Y_{CRI}}{X_{CR} - X_{CRI}}$  e  $d = y_{CRf} - CX_{CRi}$  sendo estas expressões



para d obtidas, isolando-o na equação para  $y_R$ , tendo sido substituído, nesta, o ponto  $(X_{CRi}, Y_{CRi})$ , ou o ponto  $(x_{CRf}, y_{CRf})$ . O coeficiente angular e da reta  $y_P$  também é fixo e pode ser obtido, usando-se a condição de que as retas  $y_R$  e  $y_P$  sejam perpendiculares entre si. Desta maneira,  $e = \frac{-1}{c}$ .

### 2.2.5 Método de Hatheway(1961).

Para a determinação do tamanho ótimo de parcelas, vários métodos têm sido relatados na literatura para resolver este problema. Para isso, Donato et al., (2008) discutem o método apresentado por Hatheway,(1961) para determinar o tamanho adequada de parcela. O método simula diferentes tamanhos de parcelas conveniente às condições da pesquisa e não apenas um tamanho ótimo. Para o cálculo do tamanho e de parcela, aferiram-se previamente o coeficiente b de Smith,(1938) e as demais condições foram predefinidas para experimentos com delineamentos em blocos casualizados. Aceitou-se os níveis de precisão de probabilidade, para diversas combinações de número de repetições (r = 4, 5 e 6), número de tratamentos (t = 5, 10, 15 e 20) e coeficientes de variação normalmente obtidos para determinadas características, também observou-se para a característica avaliada e a diferença a ser detectada entre médias de tratamentos.

### 2.2.6 Modelo logarítmico com resposta platô (MLOP)

O modelo logarítmico com resposta platô (MLOP) é um modelo considerado não linear nos parâmetros, as suas derivadas parciais são funções dos próprios parâmetros. O MLOP, consiste-se a uma curva inclinada descendente seguida de uma linha horizontal (platô), no qual a interseção entre essas linhas determina-se o tamanho ótimo de parcela experimental. A expressão do modelo logarítmico com resposta platô sugerido é:

$$CPE(x) = \begin{cases} \beta_0(\log(x_1 + \beta_1) + \beta_2) + \epsilon_i, & \text{se } X \leq X_0 \\ P + \epsilon_1, & \text{se } X > X_0 \end{cases} \quad (2.8)$$

em que,  $CPE(x)$ , é o coeficiente de precisão experimental entre os totais para parcelas com  $X(i)$  UEB;  $P$  é o coeficiente de precisão experimental no ponto de junção dos dois segmentos; os betas, são os parâmetros do modelo;  $X_0$  é tomado como o tamanho ótimo de parcela a ser estimado e representa o erro aleatório associado ao modelo, considerados independentes e identicamente distribuídos com média zero e variância constante. O tamanho ótimo de parcela é dado pela equação:

$$X_0 = \exp\left(\frac{p - b_2}{b_2}\right) - \beta_1. \quad (2.9)$$

O coeficiente de precisão experimental no ponto de tamanho ótimo é dado pela equação:

$$P = \beta_0(\log(x_0 + \beta_1) + \beta_2), \quad (2.10)$$

tendo-se um modelo não linear, os parâmetros podem ser estimados via algoritmo de Gauss Newton (Gallant, 1987).

### 2.2.7 Modelo de regressão linear com platô

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

$$CV_i = \begin{cases} \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i & \text{se, } X_i \leq X_c \\ P + \varepsilon_i & \text{se, } X_i > X_c \end{cases} \quad (2.11)$$

em que  $CV_i$  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;  $\beta_0$  representa o intercepto e  $\beta_1$  o coeficiente angular, do segmento linear e  $\varepsilon_i$  é o erro associado ao  $CV_i$  considerado independentes e normalmente e independentemente distribuídos com média 0 e variância  $\sigma_\varepsilon^2$  constante. O tamanho ótimo de parcelas foi estimado pela expressão:  $X_c = (\hat{P} - \hat{\beta}_0) / \hat{\beta}_1$  em que  $\hat{\beta}_0$ ,  $\hat{\beta}_1$  e  $\hat{P}$ , são os valores estimados dos parâmetros do modelo linear com resposta platô (Anderson; Nelson, 1975).

### 3 Aplicação

O material experimental para este estudo está foi conduzido em condições de cultivo protegido, na UNESP, Ilha Solteira. O substrato, foi coletado em uma área degradada pela construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira (SP), Os tratamentos foram constituídos por 04 doses de macrófitas equivalentes a 0; 8; 16 e 32  $t.ha^{-1}$  e 04 doses de cinza equivalentes a 0; 15; 30 e 45  $t.ha^{-1}$  e suas combinações, produzindo 16 tratamentos, que terão 7 repetições cada um. As sementes de jatobá foram semeadas em bandejas contendo areia lavada, em condição de cultivo protegido, e as plântulas foram transplantadas para os sacos plásticos, contendo os tratamentos aos 60 dias, nesta etapa (8 meses) serão irrigadas diariamente com água deionizada e serão avaliadas mensalmente para altura e clorofila, a cada dois meses para diâmetro de caule. Os ensaios em branco foi composto pelas medições ao logo dos 8 tempos de coleta dos dados.

Tabela 1 – Tamanho da parcela ( $X$ ), forma da parcela e número de parcelas totais para o ensaios de uniformidade

Simulações	Números de Parcelas	Tamanho $X$	Forma $X1 \times X2$
1	30	1	1x1
2	15	2	2x1
3	18	2	1x2
4	10	3	3x1
5	12	3	1x3
6	9	3	2+1
7	9	3	1+2
8	9	4	2x2
9	6	5	2x2+1
10	6	6	2x3
11	6	6	3x2
12	6	7	2x3+1
13	4	7	3x2+1
14	6	8	2x4
15	6	8	4x2
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
26	4	20	5x4
27	2	25	5x5
28	2	30	5x6

Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

A combinação dos tratamentos foi considerado como um ensaio de uniformidade, sendo cada ensaio constituído por 30 unidades básicas (ub). As unidades básicas foram dispostas

aleatoriamente e convenientemente com número diferentes de linhas e colunas. Após essa disposição, construíram-se 30 diferentes tamanhos de parcela, formados por  $X_1$  unidades básicas na linha e  $X_2$  unidades básicas na coluna. A simulação dos tamanhos de parcela foi feita pelo agrupamento de unidades básicas adjacentes, de modo que  $X_1 X_2$  correspondesse a  $X$  como apresentado na Tabela 1.

Desse modo, utilizando-se as 30 unidades básicas, dispostas em linhas e colunas nas grades convenientemente, em cada um dos tratamentos, simularam-se 16 diferentes tamanhos de parcelas, formados por  $X_1$  unidades básicas na linha e  $X_2$  unidades básicas na coluna. Os tamanhos de parcela simulados pelo agrupamento de unidades de modo que  $X_2$  correspondesse a  $X$  (tamanho da parcela em unidades básicas). Para simulação de diferentes formas parcelas, mas com o mesmo tamanho, foi verificada a média aritmética dos coeficientes de variação, provenientes de formas de diferentes parcelas. (Tabela 2)

Tabela 2 – Resumo dos coeficientes de variação e os tamanhos de parcelas, ao longo do tempo.

Tamanho	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
1	32,03	29,60	23,49	19,69	17,69	17,93	17,90	17,70
2	26,71	22,07	19,44	15,34	15,27	15,17	15,04	14,87
3	22,12	19,83	17,88	13,43	14,00	13,89	13,75	13,71
4	19,96	16,69	18,58	12,77	13,98	13,96	13,88	13,95
5	18,61	17,34	16,13	12,39	12,64	12,56	12,34	12,20
6	17,03	14,75	14,72	9,29	11,03	10,98	10,93	11,03
7	17,57	15,86	14,88	9,38	10,98	11,25	11,21	11,36
8	17,13	14,25	15,99	11,05	13,72	13,72	13,65	13,81
10	15,73	11,86	8,26	8,74	7,09	13,95	6,83	6,80
12	8,90	7,32	6,01	4,29	7,30	7,20	7,18	7,25
15	11,65	7,25	6,27	2,83	4,06	3,76	3,85	3,88
16	11,08	6,99	8,52	4,11	6,50	6,26	6,44	6,52
18	3,98	7,27	6,57	2,65	3,72	3,42	3,05	3,13
20	15,40	11,27	4,86	7,74	4,53	8,63	4,02	3,96
25	9,82	8,34	7,74	1,64	2,62	2,38	2,03	2,05
30	9,82	8,3	7,74	1,64	2,62	2,38	2,03	2,05

**Fonte:** Elaborada pela autora, 2023.

Faria (2012), apresentou um estudo sobre o tamanho ótimo de parcelas para experimentos com carcaças de bovinos da raça Red Norte. O estudo utilizou o modelo de regressão linear segmentada com platô (LRP) para analisar a variabilidade das variáveis qualitativas, peso da carcaça quente, peso de abate e rendimento de carcaça. O estudo simulou tamanhos de parcelas de 1 a 10 carcaças por unidade básica e encontrou o ponto crítico em 3 unidades, ou seja, a partir desse tamanho não há ganho significativo na precisão experimental. O estudo recomenda o uso de 3 unidades experimentais por parcela para experimentos que envolvam as variáveis analisadas. Assim também, com a finali-

dade de estimar o tamanho de parcela, por meio de modelo linear segmentado com platô (LRP), A seguinte o modelo de regressão:

$$CV_i = \begin{cases} \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i & \text{se, } X_i \leq X_c \\ P + \varepsilon_i & \text{se, } X_i > X_c \end{cases} \quad (3.1)$$

onde  $CV_i$  é o coeficiente de variação entre somatórios das parcelas 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 onde o modelo linear se transforma em um platô, em relação a abscissa;  $P$  é no ponto do coeficiente de variação correspondente ao platô;  $\beta_0$  representa o intercepto e  $\beta_1$  o coeficiente angular, do segmento linear e  $\varepsilon_i$  é o erro associado ao  $CV_i$  considerado independentes e normal e independente distribuídos com média 0 e variância  $\sigma_\varepsilon^2$  constante. O tamanho ótimo de parcelas foi estimado pela expressão:  $X_c = (\hat{P} - \hat{\beta}_0) / \hat{\beta}_1$  em que  $\hat{\beta}_0$ ,  $\hat{\beta}_1$  e  $\hat{P}$ , são as estimativas dos parâmetros do modelo linear com resposta platô.

A aplicação da regressão linear com platô permitiu compreender o comportamento de variabilidade, ao longo de todos os tratamentos de parcelas feita, observando se a quantificação da variável coeficiente de variação foi suficiente. Na Tabela 3, são encontradas as estimativas dos parâmetros para o modelo linear e o platô, na qual os coeficientes de determinação variaram de 0,8181 a 0,9280 os quais representavam estimativas adequadas. Verificou-se que houve amplitude no tamanho de parcela suficiente para os dez tratamentos. As estimativas do tamanho de parcela variaram de 10 ub (T1) correspondente a um coeficiente de variação de 10,78% a 18 ub (T7) representando um platô no coeficiente de variação de 2,78% (Tabela 3).

Tabela 3 – Estimativas dos parâmetros do modelo segmentado linear com resposta em platô, do platô de resposta equivalente 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 os diferentes tratamentos da cultura do jatobá

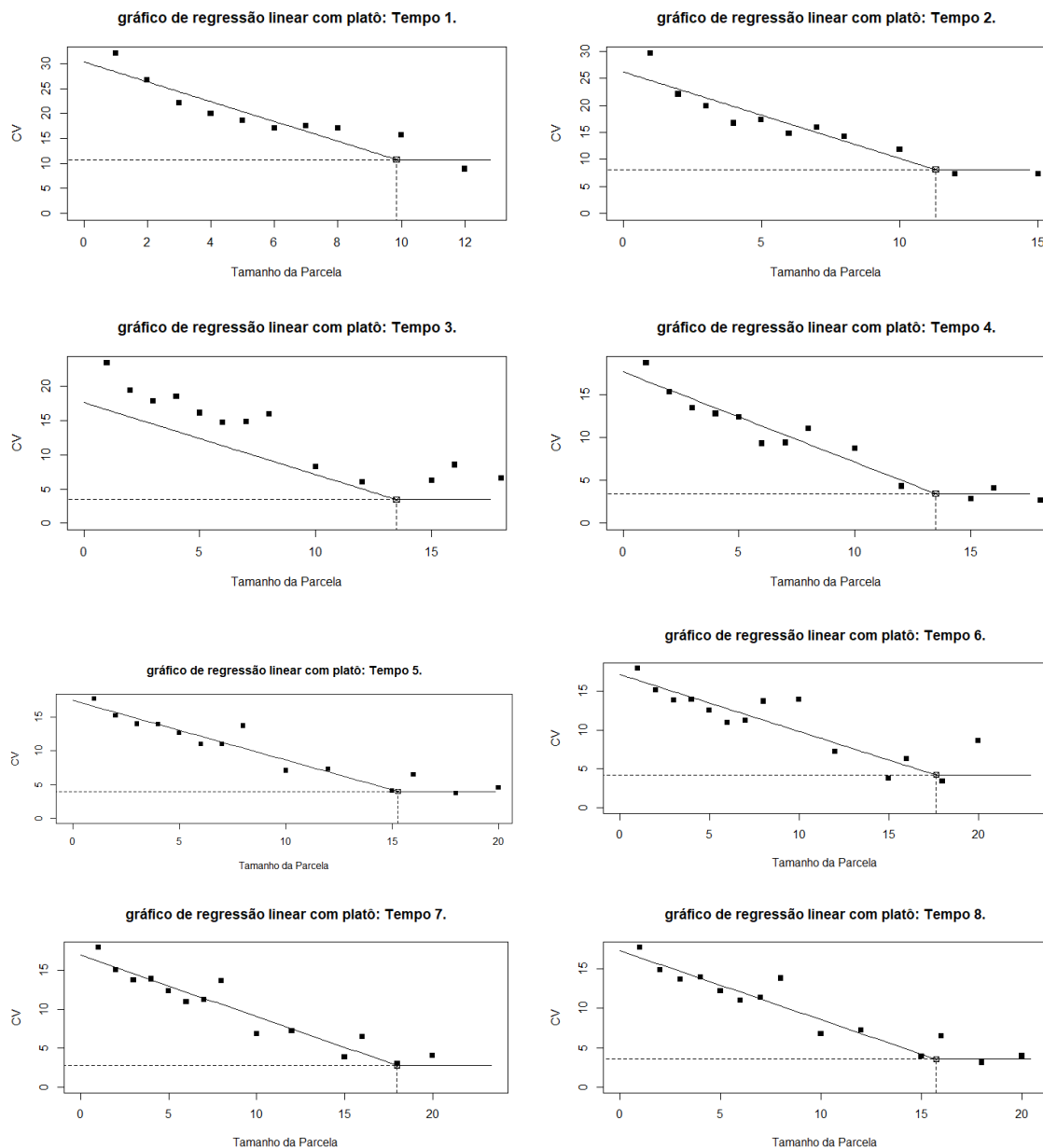
Tratamentos	$\beta_0$	$\beta_1$	$X_c$	P	$R^2$
$T_1$	30,32	-1,99	9,84	10,78	0,8181
$T_2$	26,22	-1,60	11,29	8,11	0,9041
$T_3$	17,65	-1,06	13,48	3,43	0,9161
$T_4$	17,65	-1,06	13,47	3,43	0,8941
$T_5$	17,47	-0,886	15,27	3,99	0,9250
$T_6$	17,17	-0,73	17,65	4,20	0,8267
$T_7$	16,92	-0,78	17,97	2,78	0,9280
$T_8$	17,32	-0,09	15,72	3,54	0,9143

**Fonte:** Elaborada pela autora, 2023.

Na Figura 2, foi estimado graficamente o comportamento da regressão linear com platô. A união das retas gerada pelo modelo linear em conjunto com a regressão de platô,

expressa o tamanho de parcela adequado. Desse modo, a partir do ponto, o tamanho de parcela se faz suficiente, não havendo mais necessidade de aumentá-lo, pois não há ganho em aumento de precisão experimental.

Figura 2 – Relação entre o coeficiente de variação  $CV(x)$  da altura e tamanho de parcela ( $X_c$ ) em unidades básicas nos tratamentos 1 a 8 na cultura do jatobá.



Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

Como o interesse maior é sempre na avaliação global de todos os tratamentos, uma alternativa é utilizar o maior tamanho de parcela, nesse caso, 18 unidades básicas que vão constituir o tamanho de parcela adequado. Uma segunda opção seria utilizar o valor médio dos tamanhos de parcelas obtidos entre todos os tratamentos, assim, 14 ub iriam constituir a parcela.

Para Leonardo (2010), as estimativas do tamanho da parcela foram baseadas nos métodos do modelo linear de resposta a platô e da curvatura máxima. Para avaliar as características dos frutos e das folhas do abacaxizeiro ‘Vitória’, o método do modelo linear de resposta a platô indica que o tamanho ótimo da parcela é de 15 a 20 unidades experimentais por parcela. Para avaliar os teores de N, P e K, o mesmo método indica que o tamanho ótimo da parcela é de 10 folhas. Em contraste, o método da curvatura máxima indica que o tamanho ótimo da parcela para avaliar os frutos e as folhas do abacaxi ‘Vitória’ é de 1,7 a 2,8 unidades experimentais.

Estimou-se o tamanho ótimo da parcela experimental pelo método da curvatura máxima modificado ( $3,74 \text{ m}^2$ ) e pelo modelo linear segmentado com nível constante ( $2,48 \text{ m}^2$ ) cujo tamanho de  $3,74 \text{ m}^2$  de área útil foi considerado adequado para avaliação do rendimento de grãos do girassol e menor que o tamanho geralmente usado nas pesquisas com o girassol, Sousa (2015).

A variabilidade do material experimental determina diretamente o tamanho da parcela a ser usado e, geralmente, se mede essa variabilidade pelo coeficiente de variação ou pela variância entre parcelas. A relação entre tamanho de parcela e as medidas de variabilidade apresenta uma tendência de comportamento não linear decrescente. Diversos métodos relacionam o tamanho da parcela e a variação residual; dentre esses, destacam-se os métodos da máxima curvatura, máxima curvatura modificado e regressão com resposta platô (Smith, 1938; Hatheway, 1961, Paranaíba et al., 2009).

O resultado encontrado nos experimentos de Silva (2012), constatou-se que para a cultura do rabanete recomendam-se parcelas com 21 a 63 plantas ( $0,1575$  a  $0,4745 \text{ m}^2$ ) por parcela, dependendo do modelo utilizado. Ainda segundo o autor, o modelo segmentado linear com platô de resposta (massa) e o modelo segmentado quadrático (diâmetro) estimaram parcelas maiores, com 42 ( $0,3150 \text{ m}^2$ ) e 63 ( $0,4745 \text{ m}^2$ ) plantas respectivamente. Para Brum (2016), determinou-se o tamanho ótimo de parcela, por amostragem na área total e nas frações de áreas, a fim de avaliar a massa e o diâmetro de cabeças de brócolis. Para fins de análise, cada fila foi considerada como sendo um ensaio em branco com 100 UEB. O tamanho ótimo de parcela para avaliar a massa e diâmetro de cabeças de brócolis é igual a cinco unidades experimentais básicas.

Na cafeicultura tem contribuído para o desenvolvimento de novas tecnologias, mas o tamanho de parcelas para experimentos com café é variável e baseado na maioria das vezes na experiência do pesquisador. Com isso, determina-se os tamanhos ótimos de parcelas experimentais para avaliar características físico-químicas de café arábica, utilizou-se os métodos do modelo linear de resposta a platô (Guaçoni, et al. 2020).

Para Sampaio, et al. (2019), o tamanho ótimo de parcelas é de fundamental importância para o aproveitamento, precisão e relação custo benefício em experimentos, estimou-se o tamanho ótimo de parcela envolvendo linhagem de mamoneira por meio do Modelo Linear de Resposta Platô. O experimento constituiu-se de um ensaio de unifor-

midade, considerou-se como úteis as oito fileiras centrais, com 35 plantas por fileira, num total de 280 plantas e área útil de  $840 \text{ m}^2$ . Nas avaliações aferidas, cada planta foi considerada como uma unidade básica, área de  $3 \text{ m}^2$ , perfazendo assim, 280 unidades básicas. O tamanho ótimo de parcela é de 11 unidades experimentais, para a produtividade e seus componentes, sendo a área de  $33 \text{ m}^2$  com espaçamento de 3 m entre fila e 1 m entre plantas.



#### 4 Conclusão

O estudo destaca a importância de considerar a variabilidade do material experimental ao escolher o tamanho da parcela, reconhecendo que diferentes tratamentos podem exigir abordagens distintas. A discussão sobre a escolha do tamanho da parcela com base em métodos estatísticos específicos fornece uma base sólida para a tomada de decisões em experimentos agrícolas. Para tanto, em experimentos com jatobá, o tamanho de parcela variou de 10 a 18 ub pelo modelo linear segmentado com platô. Sugere-se utilizar parcelas formadas por 14 unidades básicas. No geral, a pesquisa contribuiu para a compreensão da variabilidade e da escolha adequada do tamanho da parcela em experimentos agrícolas, fornecendo informações valiosas para pesquisadores e profissionais envolvidos na condução de estudos similares.

## REFERÊNCIAS

- ANDERSON, R. L.; NELSON, L. A. *A family of models involving intersecting straight lines and concomitant experimental designs useful in evaluating response to fertilizer nutrients*. Biometrics, Washington, v. 31, n. 2, p. 303-318, Jun. 1975.
- ANUNCIACÃO, Luis. *Conceitos e Análises Estatísticas com R e JASP*. Nila Press, Ano (2021).
- BAKKER, Olaf Andreas. *Tamanho e forma ótimos de parcelas em delineamentos experimentais*. [Tese de Doutorado]. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1988.
- BOLFARINE, H.; BUSSAB, W. O. *Amostragem aleatória simples*. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.
- BUSSAB, W. de O.; BOLFARINE, H. *Elementos de amostragem*. São Paulo: Edgar Blucher, 2005.
- BRUN, Betania et al. 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, mar. 2016. Disponível em: 1. Acesso em: 19 nov. 2023.
- CARGNELUTTI Filho, Alberto et al. *Métodos de estimativa do tamanho ótimo de parcelas experimentais de híbridos de milho simples, triplo e duplo*. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 41, n. 9, p. 1509-1516, set. 2011. Disponível em: 1. Acesso em: 19 nov. 2023.
- DA SILVA, Nilza Nunes. *Amostragem Probabilística: Um Curso Introdutório Vol. 18*. [Livro]. São Paulo: Edusp, 1998.
- DRAPER, Norman R.; SMITH, Harry. *Selecting the “best” regression equation*. *Applied regression analysis*, v. 4, n. 3, (1998), p. 327-368.
- DICKEY, P. A.; Cox, W. C. *Oil and gas in reservoirs with subnormal pressures*. AAPG Bulletin, American Association of Petroleum Geologists (AAPG), v. 61, n. 12, Ano(1977), p.2134–2142.
- DONATO, Sérgio Luiz Rodrigues et al. *Estimativas de tamanho de parcelas para avaliação de descritores fenotípicos em bananeira*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 43, n. 7, p. 957-969, jul. 2008. Disponível em: 1. Acesso em: 19 nov. 2023.
- FEDERER, Walter Theodore. *Experimental design: theory and application*. New York: Macmillan, 1955. 611 p.

FARIA, Gláucia Amorim et al. *Modelo de Regressão Linear Segmentado com Platô como Estimativa para o Cálculo do Tamanho de Parcelas para Experimentos com Carcaça de Bovinos*. Revista da Estatística da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, v. 2, n. 1, p. 52-67, jan./jun. 2012. Disponível em: 1. Acesso em: 19 nov. 2023.

FISHER, R. A. et al. *The design of experiments. The design of experiments.*, Oliver and Boyd. London and Edinburgh, n. 7th Ed, Ano (1960 ).

GALLANT, A Ronald et al. *Estimation of stochastic volatility models with diagnostics* Journal of econometrics, 81,1,Elsevier, p.159-192, 1997.

GUARCCONI, Rogério Carvalho; DE SOUZA, Jacimar Luecís; FAVARATO, Luiz Fernando; DA PENHA ANGELETTI, Maria; BAHIENSE, Douglas Vianna. *Determinação do tamanho ótimo de parcela experimental para experimentos com repolho utilizando simulação e métodos de estimação*. Revista Científica Intelletto, v. 2, n. 2, p. 1-13, (2017).

GUARÇONI, Rogério Carvalho; DE SOUZA, Jacimar Luecís; FAVARATO, Luiz Fernando; DA PENHA ANGELETTI, Maria; BAHIENSE, Douglas Vianna. *Determinação do tamanho ótimo de parcela experimental para experimentos com café arábica utilizando simulação e métodos de estimação*. Revista Científica Intelletto, v. 5, n. 1, p. 1-13, (2020).

GOMEZ, K. A.; Gomez, A. A. *Statistical procedures for agricultural research*. [S.l.]: Johnwiley & sons, Ano ( 1984 ).

GOÊS, Maria Alice Cabral de; LUZ, Adão Benvindo da; POSSA, Mario Valente. *Amostragem*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.

HATHEWAY, William H. (*Convenient Plot Size 1*). *Agronomy Journal*, v. 53, n. 4, p. 279-280, 1961.

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

HATHEWAY, W. H.; WILLIAMS, E. J. *Efficient estimation of the relationship between plot size and the variability of crop yields*. *Biometrics*, v. 14, n. 12, p. 207-222, (1958).

LEONARDO, Eduardo. *Tamanho ótimo de parcela para avaliação do abacaxizeiro 'Vitória'*. [Dissertação de Mestrado]. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, 2010.

- LESSMAN, K.; ATKINS, R. *Optimum Plot Size and Relative Efficiency of Lattice Designs of Grain Sorghum Yield Test. Crop Science*, v. 3, n. 5, p. 477-481, (1963).
- LORENTZ, Leandro Homrich; ERICHSEN, Ronaldo; LÚCIO, Alessandro Dal'Col. *Proposta de método para estimação de tamanho de parcela para culturas agrícolas. Revista Ceres*, v. 59, p. 772-780, (2012).
- LOPES, S. J.; STORCK, L. *Precisão experimental para diferentes manejos na cultura do milho. Ciência Rural*, v. 25, p. 49-53, (1995).
- LOPES, S. J. et al. *Tamanho de parcela para produtividade de grãos de sorgo granífero em diferentes densidades de plantas. Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 40, p. 525-530, (2005).
- LOPES, Sidinei José; STORCK, Lindolfo; DAL'COL LÚCIO, Alessandro; LORENTZ, Leandro Homrich; LOVATO, Cláudio; DIAS, Vilnei de Oliveira. *Tamanho de parcela para produtividade de grão de sorgo granífero em diferentes densidades de plantas. Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 40, p. 525-530, (2005).
- MAHALUCCA, A. F. *Noções de amostragem. Estatística Aplicada*, p. 4-9, (2016).
- MAROTTI, Juliana; GALHARDO, Alessandra Pucci Mantelli; FURUYAMA, Ricardo Jun; PIGOZZO, Mônica Nogueira; CAMPOS, Tomie Nakakuki de; LAGANÁ, Dalva Cruz. *Amostragem em pesquisa clínica: tamanho da amostra. Revista de Odontologia da Universidade Cidade de São Paulo*, v. 20, n. 2, p. 186-194, (2008).
- MEIER, V. D.; LESSMAN, K. *Estimation of Optimum Field Plot Shape and Size for Testing Yield in Crambe abyssinica Hochst.. Crop Science*, v. 11, n. 5, p. 648-650, (1971).
- NETO, P. L. de O. C. *Estatística*. São Paulo: Editora Blucher, (2002).
- OLIVEIRA, Z. de M. R. de; ROSSETTI FERREIRA, M. C. *Propostas para o atendimento em creches no município de São Paulo. Cadernos de Pesquisa*, n. 56, p. 39-65, (1986).
- OLIVEIRA, Maria Lúcia Magalhães de; AQUINO, José Aury de. *Amostragem*. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, (2007).

PARANAIBA; FERREIRA, D. F.; DE MORAIS, A. R. *Tamanho ótimo de parcelas experimentais: proposição de métodos de estimativa*. Rev. Bras. Biom, v. 27, n. 2, p. 255-268, (2009).

PEREIRA, Alexandre da Costa. *Módulo 2 - probabilidades e técnicas de amostragem*. [Apostila]. Brasília: Escola Nacional de Administração Pública (Enap), (2016).

PIMENTEL GOMES, F. *Curso de estatística experimental*. Piracicaba: Editora Fealq, v. 15, p. 17, (2000).

RODRIGUES, F. C. et al. *Número de frutos para determinar o tamanho de amostra para avaliar características de tangerina utilizando os métodos Bootstrap e regressão linear com resposta a platô*. Intellecto, v. 3, n. 2, p. 1-12, (2018).

ROSSETTI, C. C. *Christina Rossetti*. [S.l.]: Ardent Media, p. 17, (1986).

ROSSETTI, A. G.; PIMENTEL-GOMES, F. *A method for the determination of optimum plot size in experiments with rubber tree (Hevea)*. *Journal of Natural Rubber Research*, v. 2, n. 3, p. 135-141, (1987)

ROSSI, J. W. *Técnicas de Amostragem e Análise de Regressão*. Lisboa: [s.n.], (2020).

SAMPAIO, J. C. et al. *Tamanho ótimo de parcela para linhagens de mamoneira utilizando o modelo linear de resposta platô*. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibras*, v. 23, n. 1, p. 1-10, (2019).

SILVA, R. L. da et al. *Determinação do tamanho ótimo da parcela experimental pelos métodos da máxima curvatura modificado, do coeficiente de correlação intraclasse e da análise visual em testes clonais de eucalipto*. *Revista Árvore*, v. 27, p. 669-676, (2003).

SILVA, L. F. de O. da et al. *Tamanho ótimo de parcela para experimentos com rabanetes*. *Revista Ceres*, v. 59, p. 624-629, (2012).

SILVA, P. L. N.; BIANCHINI, A. M.; DIAS, A. *Amostragem: teoria e prática usando R*. Rio de Janeiro: [s.n.], (2021).

SOUSA, R. P. de et al. *Tamanho ótimo de parcela para avaliação do rendimento de grãos do girassol*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 4, p. 375-381, (2010).

SOUSA, R. P de et al. *Tamanho ótimo de parcela para avaliação do rendimento de grãos do girassol*, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.19, SciELO Brasil, p.21-26, 2015.

SCHABENBERGER, Oliver and Pierce, Francis J, *Contemporary statistical models for the plant and soil sciences*, publisher (CRC press), year(2001).

SCHALLENBERGER, Euclides; REBELO, José Ângelo; MAUCH, Carlos Rogério; TERNES, Murito; PEGORARO, Renato Arcângelo. *Comportamento de plantas de tomateiros no sistema orgânico de produção em abrigos de cultivo com telas antiinsetos*. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v. 7, n. 1, p. 23-29, (2008).

SMITH, H. F. *An Empirical law describing heterogeneity in the yields of agricultural crops*. The Journal of Agricultural Science, Cambridge University Press, v. 28, n. 1, Ano (1938), p. 1–23.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. *Principles and procedures of statistics*. New York: McGraw-Hill, 1960.

STEEL, R. *Principles and procedure of statistics*. A Biometrical approach. New York: Mc Grow-Hill Company, Inc., 1980. p. 17.

STEELS, L. *The synthetic modeling of language origins. Evolution of communication*, v. 1, n. 1, p. 1-34, 1997.

STORCK, Lindolfo; LOPES, Sidinei José; MARQUES, Daniela Giffoni; TISOTT, Cesar Augusto; ROS, Cesar Augusto da. *Análise de covariância para melhoria da capacidade de discriminação em ensaios de cultivares de milho*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 35, p. 1311-1316, (2000).

TORRIE, G. M.; VALLEAU, J. P. *Electrical double layers. I. Monte Carlo study of a uniformly charged surface*. *The Journal of Chemical Physics*, v. 73, n. 11, p. 5807-5816, (1980).

WALPOLE, Ronald E.; MYERS, Raymond H.; MYERS, Sharon L.; YE, Keying. *Probability and Statistics for Engineers and Scientists, 9th*. Boston: Pearson, 2011.

VALLEJO, Roger L.; MENDOZA, Humberto A. *Plot technique studies on sweetpotato yield trials. Journal of the American Society for Horticultural Science*, v. 117, n. 3, p. 508-511, (1992).

VIANA, Anselmo Eloy Silveira. *Estimativas de tamanho de parcelas e características do material de plantio em experimentos com mandioca (Manihot esculenta Crantz)*. [Dissertação de Mestrado]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. VIANA,

Anselmo Eloy S.; SEDIYAMA, Tocio; CECON, Paulo Roberto; LOPES, Sandro C.; SEDIYAMA, Maria Aparecida N. *Estimativas de tamanho de parcela em experimentos com mandioca. Horticultura Brasileira*, v. 20, n. 1, p. 58-63, 2002.