

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**  
**CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL**

**LETÍCIA GALVÃO MORAIS**

**DIMENSIONAMENTO AMOSTRAL E TAMANHO  
ÓTIMO DE PARCELA NA EXPERIMENTAÇÃO COM  
MUDAS CLONAIS DE CACAUEIRO**

**São Mateus – ES**

**2025**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**  
**CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL**

**DIMENSIONAMENTO AMOSTRAL E TAMANHO**  
**ÓTIMO DE PARCELA NA EXPERIMENTAÇÃO COM**  
**MUDAS CLONAIS DE CACAUEIRO**

**LETÍCIA GALVÃO MORAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, para obtenção do título de mestre em Agricultura tropical.

Orientador: Prof. Dr. Edilson Romais  
Schmidt

**São Mateus – ES**

**2025**

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

---

M827d      Morais, Leticia Galvão, 1997-  
              DIMENSIONAMENTO AMOSTRAL E TAMANHO  
              ÓTIMO DE PARCELA NA EXPERIMENTAÇÃO COM MUDAS  
              CLONAIS DE CACAUEIRO / Leticia Galvão Morais. - 2025.  
              51 p. : il.

              Orientador: Edilson Romais Schmildt.  
              Coorientador: Enilton Nascimento de Santana.  
              Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) -  
              Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário  
              Norte do Espírito Santo.

              1. Agricultura (Estatísticas). 2. Frutas - Cultivo. 3. Estatística.  
              4. Estatística agrícola. I. Schmildt, Edilson Romais. II. Santana,  
              Enilton Nascimento de. III. Universidade Federal do Espírito  
              Santo. Centro Universitário Norte do Espírito Santo. IV. Título.

CDU: 63

---

# DIMENSIONAMENTO AMOSTRAL E TAMANHO ÓTIMO DE PARCELA NA EXPERIMENTAÇÃO COM MUDAS CLONAIS DE CACAUEIRO

**LETÍCIA GALVÃO MORAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, para obtenção do título de mestre em Agricultura tropical.

Aprovada: 26 de setembro de 2025.

## COMISSÃO EXAMINADORA

*Edilson Romais Schmildt*

---

**Prof. Dr. Edilson Romais Schmildt**  
Universidade Federal do Espírito  
Santo  
Orientador

---

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Jalille Amim Altoé**  
Universidade Federal do Espírito Santo

*Enilton Nascimento de Santana*

---

**Prof. Dr. Enilton Nascimento de  
Santana**  
Instituto Capixaba de Pesquisa,  
Assistência Técnica e Extensão Rural

*CARLOS ALBERTO SPAGGIARI SOUZA*

---

**Carlos Alberto Spaggiari Souza**  
Ministério da Agricultura, Pecuária e  
Abastecimento





### Capa Leticia

Data e Hora de Criação: 01/10/2025 às 13:17:47

Documentos que originaram esse envelope:  
- Capa.pdf (Arquivo PDF) - 1 página(s)



### Hashs únicas referente à esse envelope de documentos

[SHA256]: a1ddfb21c05f223b380eee4bedc862a3847b2b1dfa1ba44a6602986a151fa4ee

[SHA512]: 41e89a0b323c59406ce5b166101c59493f6a172ec90e12881cfe199ddca511066c84075d21687b0f7a38445e31c1c8381f4d155763ac32016dcff478043996f 9

### Lista de assinaturas solicitadas e associadas à esse envelope



#### ASSINADO - Edilson Romais Schmidt (edilson.schmidt@ufes.br)

Data/Hora: 02/10/2025 - 00:21:49, IP: 177.221.121.24

[SHA256]: c2f551095941bea8912873d3e419972d60346085dc369fc3ee 74d0f331b23807

Assinatura Eletrônica Avançada (Conforme Lei nº 14.063/20, art. 4º, II)



#### ASSINADO - Enilton Nascimento de Santana (enilton@incaper.es.gov.br)

Data/Hora: 02/10/2025 - 13:58:26, IP: 201.62.39.180

[SHA256]: 6863a8f6645f3903112f9355a57527996d69cfcb72483ec7e6f143a82a174d 86

Assinatura Eletrônica Avançada (Conforme Lei nº 14.063/20, art. 4º, II)



#### ASSINADO - Jalille Amim Altoé (jalille.altoe@ufes.br)

Data/Hora: 01/10/2025 - 14:10:13, IP: 200.137.72.162, Geolocalização: [-18.676801, -39.859588]

[SHA256]: 9ef19e1e918a4fad6120afc832376e23b1c1e874ecb92f4f79b2e28402966f 11

Assinatura Eletrônica Avançada (Conforme Lei nº 14.063/20, art. 4º, II)



#### ASSINADO - Carlos Alberto Spaggiari Souza (spaggiari.ceplac@gmail.com)

Data/Hora: 03/10/2025 - 12:06:17, IP: 170.83.213.7, Geolocalização: [-19.385548, -40.062156]

[SHA256]: 67620b9b9a98a7dc5bd82af3125a9274a06886a3866ed281123f2fc95a13d27d

Assinatura Eletrônica Avançada (Conforme Lei nº 14.063/20, art. 4º, II)

### Histórico de eventos registrados neste envelope

03/10/2025 12:06:18 - Envelope finalizado por spaggiari.ceplac@gmail.com, IP 170.83.213.7

03/10/2025 12:06:17 - Assinatura realizada por spaggiari.ceplac@gmail.com, IP 170.83.213.7

03/10/2025 11:57:21 - Envelope visualizado por spaggiari.ceplac@gmail.com, IP 170.83.213.7

02/10/2025 13:58:26 - Assinatura realizada por enilton@incaper.es.gov.br, IP 201.62.39.180

02/10/2025 00:21:49 - Assinatura realizada por edilson.schmidt@ufes.br, IP 177.221.121.24

02/10/2025 00:21:14 - Envelope visualizado por edilson.schmidt@ufes.br, IP 177.221.121.24

01/10/2025 14:10:13 - Assinatura realizada por jalille.altoe@ufes.br, IP 200.137.72.162

01/10/2025 14:05:24 - Envelope visualizado por jalille.altoe@ufes.br, IP 200.137.72.162

01/10/2025 13:20:25 - Envelope registrado na Blockchain por fabricio.nobrega@ufes.br, IP 189.91.157.25

01/10/2025 13:20:25 - Envelope encaminhado para assinaturas por fabricio.nobrega@ufes.br, IP 189.91.157.25

01/10/2025 13:17:47 - Envelope criado por fabricio.nobrega@ufes.br, IP 189.91.157.25

“Se eu vi tão longe, foi porque estava apoiado em ombros de gigantes; Se eu vim tão longe foi porque segui os passos de quem veio antes.”

Grupo Bem

## AGRADECIMENTOS

A Deus.

Aos meus pais, Ingrid e Cassiano, por todo o apoio e amor incondicional que dedicaram e dedicam a mim e ao meu irmão. Não seria a pessoa que sou hoje sem vocês e muito menos teria chegado tão longe. Agradeço imensamente pelo exemplo, pelas portas que abriram e por sempre me guiarem pelo caminho do bem.

Aos amigos que fiz nessa jornada e que estiveram ao meu lado nas alegrias, nas tristezas, nos momentos de surto e nas comemorações, obrigada por me apoiarem, ouvirem e aconselharem. Essa jornada foi mais divertida graças a vocês e as conquistas são mais satisfatórias quando temos pessoas que nos amam ao nosso lado.

A minha psicóloga Kamila Procópio por me acompanhar nessa jornada, me auxiliando a lidar com os desafios e dificuldades e a me entender melhor, chego aqui uma pessoa diferente e melhor do que quando comecei.

Ao meu orientador, Dr. Edilson Romais Schmildt pela dedicação, paciência e cuidado na orientação, por acreditar em mim e me guiar pelo universo da estatística experimental. Aos demais colegas do laboratório de melhoramento de plantas pela parceria nos estudos e trabalhos. E aos meus coorientadores, Dr. Enilton Nascimento de Santana e Dra. Sara Dousseau Arantes, pela oportunidade e apoio.

Aos professores que tive durante esses 24 anos dedicados ao estudo e que contribuíram no meu aprendizado e formação. Muito obrigada por todo o tempo dedicado a ensinar e educar, vocês são parte dessa construção.

A Universidade Federal do Espírito Santo pelo suporte acadêmico, infraestrutura e ambientes de estudo e promoção de conhecimentos. A Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo pela concessão da bolsa que tornou viável a realização desse estudo e a Fazenda Experimental do INCAPER de Linhares–ES, que proporcionou um ambiente de trabalho integral e possibilitou o aperfeiçoamento de conhecimentos práticos.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	viii
<b>1. CAPÍTULOS</b> .....	2
<b>1.1. DIMENSIONAMENTO AMOSTRAL NA EXPERIMENTAÇÃO COM MUDAS CLONAIIS DE CACAUEIRO</b> .....	2
Resumo .....	2
Abstract.....	2
<b>1.1.1 Introdução</b> .....	3
<b>1.1.2. Material e Métodos</b> .....	5
<b>1.1.3. Resultados e Discussão</b> .....	7
<b>1.1.4. Conclusões</b> .....	15
<b>1.1.5. Referências</b> .....	16
<b>1.2. TAMANHO ÓTIMO DE PARCELA NA EXPERIMENTAÇÃO COM MUDAS CLONAIIS DE CACAUEIRO</b> .....	19
Resumo .....	19
Abstract.....	19
<b>1.2.1. Introdução</b> .....	20
<b>1.2.2. Material e Métodos</b> .....	22
<b>1.2.3. Resultados e Discussão</b> .....	25
<b>1.2.4. Conclusão</b> .....	33
<b>1.2.5. Referências</b> .....	33
<b>2. APÊNDICES</b> .....	36

## RESUMO

MORAIS, Letícia Galvão; M.Sc.; Universidade Federal do Espírito Santo; Setembro de 2025; **Dimensionamento amostral e tamanho ótimo de parcela na experimentação com mudas clonais de cacaueteiro**; Orientador: Edilson Romais Schmildt; Coorientadores: Enilton Nascimento de Santana e Sara Dousseau Arantes.

O cacau é uma cultura de grande relevância econômica para o Brasil e vem sendo explorada economicamente desde os anos 1930, portanto, a cultura passou e vem passando por diversos processos de melhoramento que permitiram diversificar sua produção. Para que isso se perpetue, a execução de experimentos científicos é essencial, principalmente aqueles voltados para a avaliação da qualidade de mudas, visto que esta é a principal forma de propagação da cultura e existe uma quantidade considerável de variedades clonais. Nesse tipo de experimento, não há um consenso em relação à quantidade de material necessária para se obter resultados confiáveis e ainda, ao se avaliar uma característica, é comum observar variação entre plantas, mesmo entre aquelas submetidas ao mesmo tratamento. Sendo assim, é importante basear-se em uma justificativa científica para determinar a quantidade de material a ser usado para realizar um planejamento experimental eficaz. Nesse sentido, objetivou-se por meio de duas diferentes metodologias determinar a quantidade de material, ou seja, a quantidade de plantas, que devem ser utilizadas na experimentação com mudas clonais de cacaueteiro. Portanto, realizou-se o dimensionamento amostral por meio do método determinístico e determinou-se o tamanho ótimo de parcela através do método de máxima curvatura modificado com simulação bootstrap. Para ambos casos se utilizou cinquenta mudas de seis clones diferentes, totalizando trezentas plantas, sendo realizada a avaliação de 12 características morfológicas e quatro índices usados em estudos de caracterização morfológica de mudas. Além da realização de uma estatística descritiva contendo dados de média, mediana, máximo e mínimo, desvio padrão e coeficiente de variação. Para o primeiro capítulo, no dimensionamento amostral ainda foi determinado o valor de  $p$  pelo teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e assimetria. Um tamanho amostral foi determinado para a estimativa de erros fixados em 5%, 10%, 15%, 20%,

25% e 30% da média, com um nível de confiança de 95%. O tamanho amostral para avaliação de características obtidas por medição, pesagem, número de folhas, área foliar e número e volume de raiz aumentam nesta ordem. Quanto aos índices, o tamanho amostral aumenta na ordem IR, IRC, IQD e AFE. Admitindo um erro de 20%, o tamanho amostral de 119 mudas atende aos seis clones utilizados nesse estudo, bem como as dezesseis variáveis avaliadas. No segundo capítulo, determinou-se o tamanho ótimo de parcela, para a experimentação com mudas clonais de cacau e o valor encontrado foi de nove plantas por parcela experimental.

**Palavras-chave:** *Theobroma cacao* L., Planejamento experimental, Reamostragem, Bootstrap, Precisão experimental.

## ABSTRACT

MORAIS, Leticia Galvão; M.Sc.; Federal University of Espírito Santo; September 2025; **Sample sizing and optimal plot size in experimentation with cocoa clonal seedlings**; Advisor: Edilson Romais Schmidt; Co-advisors: Enilton Nascimento de Santana and Sara Dousseau Arantes.

Cocoa is a crop of great economic importance for Brazil and has been economically exploited since the 1930s. Therefore, the crop has undergone and continues to undergo several improvement processes that have allowed its production to be diversified. For this to continue, scientific experiments are essential, especially those aimed at evaluating the quality of seedlings, since this is the main form of crop propagation, and there is a specific number of clonal varieties. In this type of experiment, there is no consensus regarding the amount of material necessary to obtain reliable results, moreover, when evaluating a characteristic, it is common to observe variation between plants, even among those subjected to the same treatment. Therefore, it is important to base on a scientific justification to determine the amount of material that will be used to carry out effective experimental planning. In this sense, the objective was to determine, through two different methodologies, the amount of material, that is, the number of plants, that should be used in the experimentation with clonal cocoa seedlings. Therefore, the sample size was determined using the deterministic method, and the optimal plot size was determined using the modified maximum curvature method with bootstrap simulation. In both cases, 50 seedlings from six different clones were used, totaling 300 plants. 12 morphological traits and four indexes used in seedling morphological characterization studies were evaluated. Descriptive statistics were performed, including: mean, median, maximum, minimum, standard deviation, and coefficient of variation. For the first chapter, the sample size was also determined using the Kolmogorov-Smirnov normality test and skewness. A sample size was determined for estimating errors set at 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, and 30% of the mean, with a 95% confidence level. The sample size for evaluating traits obtained by measurement, weighing, leaf number, leaf area, root number, and volume increases in this order. For the indexes, the sample size increases in the order

of IR, IRC, IQD, and AFE. Allowing for a 20% error, the sample size of 119 seedlings covers the six clones used in this study, as well as the sixteen variables evaluated. In the second chapter, the optimal plot size for experimentation with clonal cacao seedlings was determined, and the value found was nine plants per experimental plot.

**Keywords:** *Theobroma cacao* L., Experimental design, Resampling, Bootstrap, Experimental precision.

## **1. CAPÍTULOS**

## 1.1. DIMENSIONAMENTO AMOSTRAL NA EXPERIMENTAÇÃO COM MUDAS CLONAIS DE CACAUEIRO

### Resumo

O cacau é produzido em vários países principalmente para a obtenção de suas amêndoas, incluindo o Brasil. Por ter como principal forma de propagação mudas clonais, diversos estudos são feitos visando o aprimoramento da produção dessa cultura. Na experimentação, ao se avaliar uma característica é comum observar variação entre plantas, mesmo entre aquelas submetidas ao mesmo tratamento, assim é importante que os experimentos sejam adequadamente realizados afim de garantir confiabilidade nos resultados obtidos e o dimensionamento amostral é uma forma de obter informações confiáveis sobre a característica a ser estimada. Desse modo o objetivou-se dimensionar o tamanho amostral na experimentação com mudas clonais de cacau. Foram obtidas 50 mudas de seis clones diferentes, totalizando 300 plantas e 16 variáveis referentes a morfologia e qualidade de mudas foram avaliadas. Para cada clone de acordo com cada característica foi realizada uma estatística descritiva contendo dados de média, mediana, mínimo; máximo, desvio padrão e coeficiente de variação (CV). Também foi determinado o valor de p pelo teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e assimetria. Um tamanho amostral foi determinado para a estimativa de erros fixados em 5%, 10%, 15%, 20%, 25% e 30% da média, com um nível de confiança de 95%. O tamanho amostral para avaliação de características obtidas por medição, pesagem, número de folhas, área foliar e número e volume de raiz aumentam nesta ordem. Quanto aos índices, o tamanho amostral aumenta na ordem IR, IRC, IQD e AFE. Admitindo um erro de 20%, o tamanho amostral de 119 mudas atende aos seis clones utilizados nesse estudo, bem como as dezesseis variáveis avaliadas.

**Palavras-chave:** *Theobroma cacao* L.; planejamento experimental; método determinístico; reamostragem; bootstrap; precisão experimental.

### Abstract

Cocoa is produced in several countries, mainly for its almonds, including Brazil. Since clonal seedlings are the main form of propagation, several studies have been carried

out to improve the production of this crop. In experiments, when evaluating a characteristic, it is common to observe variation between plants, even among those subjected to the same treatment. Therefore, the experiments must be properly carried out to ensure the reliability of the results obtained. Sample size is a way to obtain reliable information about the characteristic to be estimated. Thus, the objective was to determine the sample size in the experiment with clonal cocoa seedlings. 50 seedlings from six different clones were used, totaling 300 plants, and were evaluated 16 variables related to seedling morphology and quality. For each clone, descriptive statistics were performed according to each characteristic, including data on mean ( $\hat{m}$ ), median, minimum, maximum, standard deviation, and coefficient of variation. It was also determined a p-value by the Kolmogorov-Smirnov normality test and a skewness test. A sample size was determined for estimating errors set at 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, and 30% of the mean, with a 95% confidence level. The sample size for evaluating characteristics obtained by measurement, weighing, number of leaves, leaf area, and number and volume of roots increases in this order. Regarding the indices, the sample size increases in the following order: IR, IRC, IQD, and AFE. Allowing for a 20% error, the sample size of 119 seedlings covers the six clones used in this study, as well as the sixteen variables evaluated.

**Keywords:** *Theobroma cacao* L.; experimental design; deterministic method; resampling; bootstrap; experimental precision.

### 1.1.1 Introdução

O cacau (*Theobroma cacao*) integra a família Malvaceae, da qual é a espécie de maior importância econômica (COLLI-SILVA; PIRANI; FERNANDES-JÚNIOR, 2025). Seja para a obtenção dos grãos para a produção de chocolate ou obtenção da polpa, o cacau é produzido em vários países e segundo dados da FAO (2025), a Costa do Marfim é o maior produtor, seguido por Gana, Indonésia e Equador, enquanto o Brasil ocupa a quinta posição neste ranking. No que diz respeito a produção nacional, o estado da Bahia se destaca como maior produtor, seguido pelo Pará e pelo Espírito Santo (IPEA, 2025). Tal relevância econômica evidencia o potencial que ainda há para ser alcançado na produção de cacau no Brasil.

Segundo descrito por Souza Junior (2018), o cacau é uma cultura que vem recebendo grande atenção e investimentos no Brasil desde meados dos anos 1930, portanto a espécie vem passando por diversos processos de melhoramento. Além disso, em relação a cadeia produtiva do estado do Espírito Santo, o desenvolvimento da produção de cacau contribuiu de diversas formas para a economia e para a sociedade, seja pelas lavouras que inicialmente eram conduzidas principalmente pela agricultura familiar, seja pela criação da Chocolates Garoto®, uma das principais

empresas que comercializam chocolates do país, ou ainda com a chegada da fábrica da Cacau Show® ao estado em 2022. Todos esses fatores contribuíram para o desenvolvimento da economia do estado, como destacado por Galeano et al. (2022).

De acordo com Souza Junior (2018), os principais clones comercializados atualmente, além de apresentarem alta produtividade, resistência a doenças e pragas e frutos e sementes de qualidade, são plantas autocompatíveis. Ainda segundo o autor, tal inovação contribuiu para a reorganização do sistema de produção de cacau, bem como a expansão das suas fronteiras agrícolas.

Tais avanços contribuíram para a existência de uma considerável quantidade de clones disponíveis, o que por si só representa uma grande variabilidade que deve ser levada em consideração na realização de experimentos científicos com mudas clonais. Por isso, é importante que os experimentos realizados nesses estudos sejam adequadamente planejados de maneira a priorizar a alta precisão experimental e, por consequência, confiabilidade nos resultados obtidos.

No processo de planejamento experimental é necessário levar em consideração a variação que é comum existir entre as plantas, ao se avaliar uma determinada característica, mesmo entre aquelas submetidas ao mesmo tratamento, como destacado por Cargnelutti Filho et al. (2023). Além disso, realizar a quantificação do material necessário para a execução do experimento é importante tanto para garantir a obtenção de resultados confiáveis quanto para se evitar o gasto de recursos desnecessariamente. Dentre os estudos realizados com mudas clonais de cacau, é possível observar que não há um consenso quanto ao tamanho amostral dos experimentos.

A disparidade nos tamanhos amostrais evidencia a necessidade de uma justificativa científica na qual basear a escolha da quantidade de material a ser utilizada em um experimento. Portanto, é fundamental dimensionar o número de plantas em avaliação, para obter informações confiáveis sobre a característica a ser estimada (STORCK et al., 2016). Esse dimensionamento amostral pode ser realizado a partir de dados obtidos em ensaios de uniformidade, visto que a partir desses dados será possível dimensionar uma amostra representativa com ampla variabilidade (CARGNELUTTI FILHO et al. 2023).

Estudos voltados para o dimensionamento amostral não foram encontrados para a cultura do cacau, mas já têm se mostrado relevantes para outras culturas, como milho (TOEBE et al., 2014), milho (KLEINPAUL et al., 2017) e centeio (BANDEIRA

et al., 2019), por permitirem a identificação de variação no tamanho amostral entre as características e ainda entre genótipos (TOEBE et al., 2014). Portanto, a inclusão de estudos de dimensionamento amostral pode agregar informações importantes para subsidiar o planejamento de experimentos com melhor precisão e, conseqüentemente, com maior confiabilidade nos resultados (CARGNELUTTI FILHO et al. 2023).

Neste sentido, com o presente trabalho objetivou-se determinar o tamanho amostral necessário para a caracterização morfológica e avaliação de qualidade de seis variedades de cacau por meio da avaliação de mudas clonais.

### **1.1.2. Material e Métodos**

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental de Linhares do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), localizado no município de Linhares no norte do estado do Espírito Santo. O clima do município de Linhares, segundo a classificação de Koppen, é Aw, sendo um clima do tipo tropical quente úmido com chuvas no verão e inverno seco (ALVARES et al., 2014).

Considerando a variedade de clones de cacau existentes, para o presente estudo foram escolhidos os principais comercializados e recomendados pela CEPLAC (Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira) (BRASIL, 2018): CCN10, CCN51, PH16, PS1319, CP2204 e CP2176. Além de serem resistentes a vassoura de bruxa e possuírem alta produtividade, são plantas autocompatíveis, o que, segundo Souza Junior (2018), significa que não haverá variação genotípica na lavoura, apenas ambiental. Isso evidencia a importância de avaliar cada um dos clones separadamente.

As mudas estavam com cerca de cinco meses de idade, tiveram como porta enxerto o clone TSH1188, que foi obtido via seminífera, foram produzidas em sacolas com substrato padrão usado pelo viveiro Aliança<sup>®</sup>, também localizado no município de Linhares, de onde foram adquiridas. Cada clone contou com 50 mudas, totalizando 300 mudas.

Foram realizadas avaliações que visavam a caracterização morfológica das mudas, tendo sido avaliadas as seguintes características: comprimento de caule (CC), por meio de uma régua graduada em centímetros (cm) e medindo da base do coleto

ao ápice da planta; diâmetro do coleto (DC), usando paquímetro digital de precisão em milímetros (mm) e medindo na região do coleto; comprimento de raiz (CR), por meio da régua graduada em centímetros (cm) e medindo da base ao ápice da raiz principal; número de raízes (NR) por meio de contagem; volume de raiz (VR) colocando as raízes em proveta graduada (mL), contendo um volume conhecido de água e medindo o volume deslocado; número de folhas (NF) por meio da contagem das folhas de cada planta; área foliar (AF) através do medidor de área foliar (LI-3100C) em centímetros quadrados (cm<sup>2</sup>); e o teor relativo de clorofila estimado pelo medidor portátil SPAD (modelo 502, Konica Minolta®, Japão) em uma folha completamente expandida.

Também foi determinado o acúmulo de matéria seca das mudas. Cada órgão da planta foi devidamente fracionado e seco em estufa de circulação forçada a 65 °C até peso constante. Posteriormente os órgãos fracionados foram pesados em uma balança analítica de precisão em gramas (g) obtendo-se a matéria seca foliar (MSF), matéria seca do caule (MSC), matéria seca de raiz (MSR), a matéria seca da parte aérea (MSPA) por meio da adição de MSF e MSC e matéria seca total (MST) através da soma de MSPA e MSR. A partir disso foram calculados alguns índices: Índice de Qualidade de Mudanças de Dickson (IQD) segundo a equação 1 (DICKSON, 1960); Índice de Área Foliar Específica (AFE), dado pela divisão entre AF e MSF (POOLTER, et al., 2011); e o Índice de Robustez calculado a partir da razão entre CC e DC (CARNEIRO, 1995).

$$IQD = \frac{MST}{\frac{CC}{DC} + \frac{MSPA}{MSR}} \quad (\text{equação 1})$$

Para cada clone, de acordo com cada uma das 16 variáveis avaliadas, foi realizada a estatística descritiva, contendo os valores de média (m), mediana (Md), mínimo (min); máximo (max), desvio padrão (s) e coeficiente de variação (CV). Também foi determinado o valor de p pelo teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e assimetria. Um tamanho amostral (n) foi determinado para a estimativa de erros (e) fixados em 5%, 10%, 15%, 20%, 25% e 30% da média (m), com um nível de confiança de 95%, segundo Cochran (1977) que utiliza a semi-amplitude do intervalo de confiança (IC) calculada de acordo com a equação 2.

$$\eta = \frac{(t_{\alpha/2} S)^2}{(e m)^2} \quad (\text{equação 2})$$

Onde  $n$  é o tamanho da amostra;  $t_{\alpha/2}$  é o valor crítico da distribuição t de Student; S é o desvio padrão amostral;  $e$  é o erro relativo na estimativa da média;  $\bar{m}$  é a média aritmética amostral.

As análises estatísticas foram feitas com o uso do software R (R Core Team, 2024).

### 1.1.3. Resultados e Discussão

O teste de Kolmogorov-Smirnov para as 16 variáveis de cada clone apresentou valores p que variaram entre 0,0001655 e 0,9869 (Tabela 1). A maioria das variáveis apresentaram distribuição normal e considerando que quanto maior o valor de p maior é a proximidade dos dados a curva de distribuição normal, ainda é possível observar que as características de medição (CC e DC), MSF e MST apresentaram maiores valores de p, já as características de NF, demais características de pesagem (MSC, MSPA e MSR) e VR apresentam valores de p menores. A AF apresentou distribuição normal para a maioria dos clones (CCN10, CCN51, CP2176, PS1319 e PH16), com exceção do clone CP2204 e para NR apenas o clone CCN51 apresentou distribuição normal. Quanto aos índices avaliados, o IRC foi o que apresentou maiores valores de p, seguido do IR e do IQD. Já com o AFE a normalidade foi identificada nos clones CCN51, PS1319 e PH16.

Tabela 1. Resultado do teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e de assimetria para as 16 variáveis avaliadas em mudas de seis variedades clonais de cacaueteiro, avaliadas em 50 plantas de cada variedade

Clones	Kolmogorov-Smirnov							
	CC	NR	CR	DC	NF	AF	VR	IRC
CCN10	0,9014	0,0016	0,3923	0,5940	0,3137	0,8840	0,1302	0,7088
CCN51	0,7311	0,1773	0,7673	0,4423	0,8507	0,1908	0,2123	0,4698
CP2176	0,2258	0,0101	0,0365	0,3596	0,3613	0,9235	0,3080	0,8871
CP2204	0,7247	0,0129	0,4075	0,8148	0,2427	0,0309	0,3613	0,8489
PS1319	0,9869	0,0002	0,2050	0,6174	0,2810	0,5384	0,1137	0,9813
PH16	0,9793	0,0005	0,4498	0,7843	0,9355	0,9572	0,0359	0,8214
	MSF	MSC	MSR	MSPA	MST	IQD	AFE	IR
CCN10	0,8790	0,5088	0,4572	0,9698	0,9110	0,9241	0,0021	0,9067
CCN51	0,5594	0,7308	0,3876	0,6358	0,8883	0,5722	0,3066	0,5787
CP2176	0,7391	0,1428	0,3381	0,0856	0,0441	0,0529	0,0039	0,9816
CP2204	0,5594	0,3084	0,8739	0,7782	0,9495	0,7154	0,0039	0,6634
PS1319	0,5159	0,3271	0,4327	0,4768	0,6139	0,1520	0,8016	0,7272
PH16	0,309	0,7879	0,6013	0,3280	0,5521	0,7425	0,8919	0,4788

Continua...

Tabela 1. Continuação...

Clones	Assimetria							
	CC	NR	CR	DC	NF	AF	VR	IRC
CCN10	-0,0553	0,5207	1,1244	0,4146	1,2587	-0,1349	0,8027	0,3686
CCN51	0,1758	0,3698	1,1955	0,6393	0,3044	0,7054	0,5038	0,6051
CP2176	0,7694	0,8600	1,5410	0,5021	0,8494	0,4584	1,3945	0,0349
CP2204	-0,3507	0,9483	2,0942	0,4856	0,4099	3,7473	1,3835	0,1793
								-
PS1319	-0,0791	1,0025	0,9545	0,4799	0,0075	0,3209	0,7612	0,1436
PH16	-0,0770	1,1964	0,7221	0,2101	-0,0033	0,1692	1,8182	0,6011
	MSF	MSC	MSR	MSPA	MST	IQD	AFE	IR
CCN10	0,2082	0,5751	1,0533	0,2442	0,2229	0,5439	4,8729	0,4208
CCN51	0,5462	-0,0188	1,0002	0,2494	0,2949	0,5032	2,0608	0,9106
CP2176	1,2456	1,6963	1,2388	1,8723	1,8989	1,5008	3,3279	0,1689
								-
CP2204	0,2143	1,6962	0,2941	1,0589	0,8167	0,7774	3,5746	0,1518
PS1319	0,6848	0,9055	0,7433	0,7254	0,7771	1,2119	0,3749	0,0638
PH16	0,4436	1,0440	0,9343	0,8340	0,7077	0,6336	0,3820	0,3745

CC = comprimento do caule (cm); NR = número de raízes; CR = comprimento de raiz (cm); DC = diâmetro de caule (mm); NF = número de folhas; AF = área foliar (cm<sup>2</sup>); VR = volume de raiz (mL); IRC = Índice Relativo de Clorofila; MSF = massa seca foliar (g); MSC = massa seca do caule (g); MSR = massa seca da raiz (g); MSPA = massa seca da parte aérea (g); MST = massa seca total (g); IQD = Índice de Qualidade de Mudanças de Dickson; AFE = Área Foliar Específica; IR = Índice de Rodustez.

Os coeficientes de assimetria obtidos foram próximos a zero para a maioria das características, variando entre - 0,0188 e 4,8729 (Tabela 1), e a proximidade encontrada entre a mediana (Md) e a média ( $\hat{m}$ ) (Tabela 2), mostram que os dados possuem um bom ajuste para a maioria das características. Apesar dos resultados referentes a normalidade obtidos para AF, NR e AFE, os dados ainda se provam adequados para o estudo de dimensionamento amostral pelo método determinístico, como também observado por Cargnelutti Filho et al. (2023) em estudo com trigo.

Tabela 2. Valores de média ( $\hat{m}$ ), mediana (Md), mínimo (min); máximo (max), desvio padrão (s) e coeficiente de variação (CV, %) para as dezesseis variáveis avaliadas em mudas de seis variedades clonais de cacaueteiro, avaliadas em 50 plantas de cada variedade

Esta- tística	CCN10							
	CC	NR	CR	DC	NF	AF	VR	IRC
$\hat{m}$	53,74	2,40	33,27	10,28	13,76	1339,11	8,92	37,73
Md	54,45	2,00	31,70	10,02	13,00	1364,31	8,00	37,70
min	37,90	1,00	19,50	7,45	4,00	392,41	3,00	22,80
max	68,50	6,00	60,30	17,73	32,00	2241,99	20,00	58,50
s	7,89	1,48	8,17	1,36	4,39	422,62	3,45	6,22
CV	14,68	61,86	24,57	13,27	31,92	31,56	38,63	16,48
Esta- tística	CCN10							
	MSF	MSC	MSR	MSPA	MST	IQD	AFE	IR

Continua...



Tabela 2. Continuação...

Esta- tística	CP2204							
	MSF	MSC	MSR	MSPA	MST	IQD	AFE	IR
âm	4,87	11,07	6,02	15,95	21,97	2,51	226,94	6,28
Md	5,06	10,16	5,68	14,96	21,94	2,41	191,25	6,39
min	1,78	2,80	1,64	6,05	9,28	0,85	37,17	3,74
max	9,61	32,28	11,45	37,95	48,19	5,40	1007,98	8,47
s	1,76	4,91	2,46	5,81	7,22	1,06	145,62	1,33
CV	36,28	44,37	40,83	36,44	32,88	42,14	64,17	21,20
Esta- tística	PH16							
	CC	NR	CR	DC	NF	AF	VR	IRC
âm	54,97	1,96	30,61	9,57	17,50	1148,93	16,36	42,24
Md	54,15	1,00	28,85	9,61	17,00	1131,14	14,00	41,90
min	32,20	1,00	18,60	6,90	8,00	248,97	3,00	29,30
max	77,70	5,00	50,20	12,78	27,00	2018,06	55,00	64,20
s	10,03	1,31	8,21	1,26	4,51	418,32	9,95	6,39
CV	18,24	66,77	26,82	13,21	25,80	36,41	60,83	15,13
Esta- tística	PH16							
	MSF	MSC	MSR	MSPA	MST	IQD	AFE	IR
âm	6,15	16,05	3,58	22,19	25,77	2,08	198,95	5,77
Md	5,73	14,62	3,31	20,90	24,57	1,97	189,53	5,66
min	1,14	4,87	0,55	8,83	9,86	0,45	80,47	3,89
max	11,71	39,67	9,67	48,76	54,66	4,57	346,94	8,00
s	2,58	7,16	2,11	8,63	9,99	0,99	56,26	0,95
CV	42,00	44,64	59,09	38,88	38,76	47,75	28,28	16,38
Esta- tística	PS1319							
	CC	NR	CR	DC	NF	AF	VR	IRC
âm	50,26	1,94	31,74	5,90	10,00	837,72	8,56	41,47
Md	50,75	1,00	29,40	5,60	10,00	843,95	8,00	41,50
min	36,20	1,00	17,60	3,26	1,00	120,86	2,00	24,60
max	82,90	5,00	54,30	9,20	18,00	1659,42	22,00	54,70
s	6,73	1,17	7,61	1,42	3,63	283,98	4,52	7,49
CV	13,40	60,20	23,98	24,10	36,31	33,90	52,78	18,07
Esta- tística	PS1319							
	MSF	MSC	MSR	MSPA	MST	IQD	AFE	IR
âm	4,12	17,13	2,52	21,25	23,77	1,36	214,54	8,88
Md	3,97	16,07	2,30	20,18	22,81	1,20	209,54	9,22
min	0,37	6,99	0,50	8,49	8,99	0,34	92,65	5,28
max	9,17	33,26	5,67	39,58	44,16	3,27	326,65	13,20
s	1,67	5,97	1,21	7,11	7,93	0,62	48,74	1,85
CV	40,58	34,84	48,08	33,45	33,36	45,54	22,72	20,84

CC = comprimento do caule (cm); NR = número de raízes; CR = comprimento de raiz (cm); DC = diâmetro de caule (mm); NF = número de folhas; AF = área foliar (cm<sup>2</sup>); VR = volume de raiz (mL); IRC = Índice Relativo de Clorofila; MSF = massa seca foliar (g); MSC = massa seca do caule (g); MSR = massa seca da raiz (g); MSPA = massa seca da parte aérea (g); MST = massa seca total (g); IQD = Índice de Qualidade de Mudanças de Dickson; AFE = Área Foliar Específica; IR = Índice de Rodustez.

De acordo com os valores de máximos, mínimos e CV (Tabela 2) também é possível inferir que houve grande variação entre os clones. A identificação dessa

variação em estudos envolvendo dimensionamento amostral é importante, pois mostra a capacidade do dimensionamento em abranger mudas de diferentes tamanhos.

Os valores de CV foram os maiores para as características de NR e MSR, que variaram entre 40,83% e 66,77%. As características de medição (CC, CR e DC) apresentaram valores menores e o mesmo também foi observado para as demais características de pesagem (MSF, MSC, MSPA e MST). Quanto ao VR obteve-se valores altos, mas não tão altos quanto as características de NR e MSR; já NF e AF variaram entre números bem próximos, a exceção do clone CP2204. Em relação aos índices, o IQD e o AFE apresentaram maiores variações nos valores, entre 22,72% e 64,27%, já os índices IR e IRC apresentaram os menores valores, variando entre 15,13% e 21,20%.

Nesse sentido, entende-se que é necessário um maior tamanho amostral para as características de VR, NR e MSR e para os índices IQD e AFE, do que para as características de CC, CR, DC, MSF, MSC, MSPA, MST, NF e AF e para os índices IR e IRC.

Na Tabela 3 estão dispostos os tamanhos amostrais obtidos para a média estimada e erro estimados de 5%, 10%, 15%, 20%, 25% e 30% da média. Os erros estimados de 5% e 10% apresentaram os maiores tamanhos amostrais para todas as características e todos os clones. À medida que se aumentou o valor do erro estimado houve uma redução gradativa nos tamanhos amostrais, chegando a variar entre um e 53 plantas considerando um erro de 30%. Entretanto, mesmo que seja mais prático a realização de um experimento com uma quantidade menor de plantas, implicaria na redução da precisão nos valores das características avaliadas.

Ainda assim, como também observado por Schabarum et al. (2018) é possível avaliar as características com uma precisão menor sem que se comprometa a qualidade das avaliações. Neste sentido, cabe ao pesquisador durante seu processo de tomada de decisão escolher a quantidade capaz de equilibrar um resultado confiável com a disponibilidade de recursos para a realização do experimento.

Adotando 5% por exemplo, os menores tamanhos amostrais foram para as características de medição CC e DC que variaram entre 28 e 94. Já os maiores valores foram para as características de NR, VR e AF respectivamente, com variação entre 186 e 1904. As características de pesagem (MSF, MSC, MSPA, MSR e MST) também apresentaram valores altos entre 126 e 625. Quanto aos índices AFE e IQD

apresentaram valores maiores, entre 83 e 726, enquanto IRC e IR apresentaram valores menores, variando entre 37 e 73. A mesma divisão aconteceu quando adotado 10% de erro estimado, porém com uma variação menor entre os valores. Essa tendência nos valores dos tamanhos amostrais foi observada para os demais erros (Tabela 3).

Tabela 3. Tamanho amostral para as dezesseis variáveis avaliadas para os erros estimados de 5%, 10%, 15%, 20%, 25% e 30% do intervalo de confiança em mudas de seis variedades clonais de cacauero, avaliadas em 50 plantas de cada variedade

Erros	CCN10							
	CC	NR	CR	DC	NF	AF	VR	IRC
5%	35	618	98	28	165	1904	241	44
10%	9	155	24	7	41	476	60	11
15%	4	69	11	3	18	212	27	5
20%	2	39	6	2	10	119	15	3
25%	1	25	4	1	7	76	10	2
30%	1	17	3	1	5	53	7	1

Erros	CCN10							
	MSF	MSC	MSR	MSPA	MST	IQD	AFE	IR
5%	217	212	323	142	126	218	726	57
10%	54	53	81	36	31	55	181	14
15%	24	24	36	16	14	24	81	6
20%	14	13	20	9	8	14	45	4
25%	9	8	13	6	5	9	29	2
30%	6	6	9	4	3	6	20	2

Erros	CCN51							
	CC	NR	CR	DC	NF	AF	VR	IRC
5%	32	404	76	43	165	226	266	40
10%	8	101	19	11	41	56	67	10
15%	4	45	8	5	18	25	30	4
20%	2	25	5	3	10	14	17	2
25%	1	16	3	2	7	9	11	2
30%	1	11	2	1	5	6	7	1

Erros	CCN51							
	MSF	MSC	MSR	MSPA	MST	IQD	AFE	IR
5%	244	185	288	163	142	196	262	53
10%	61	46	72	41	35	49	65	13
15%	27	21	32	18	16	22	29	6
20%	15	12	18	10	9	12	16	3
25%	10	7	12	7	6	8	10	2
30%	7	5	8	5	4	5	7	1

Erros	CP2176							
	CC	NR	CR	DC	NF	AF	VR	IRC
5%	56	504	167	61	250	350	457	60
10%	14	126	42	15	62	87	114	15
15%	6	56	19	7	28	39	51	7

Continua...

Tabela 3. Continuação...

20%	4	32	10	4	16	22	29	4
25%	2	20	7	2	10	14	18	2
30%	2	14	5	2	7	10	13	2
CP2176								
Erros	MSF	MSC	MSR	MSPA	MST	IQD	AFE	IR
5%	620	407	625	386	369	540	704	67
10%	155	102	156	96	92	135	176	17
15%	69	45	69	43	41	60	78	7
20%	39	25	39	24	23	34	44	4
25%	25	16	25	15	15	22	28	3
30%	17	11	17	11	10	15	20	2
CP2204								
Erros	CC	NR	CR	DC	NF	AF	VR	IRC
5%	49	595	126	45	172	719	243	49
10%	12	149	32	11	43	180	61	12
15%	5	66	14	5	19	80	27	5
20%	3	37	8	3	11	45	15	3
25%	2	24	5	2	7	29	10	2
30%	1	17	4	1	5	20	7	1
CP2204								
Erros	MSF	MSC	MSR	MSPA	MST	IQD	AFE	IR
5%	213	318	269	214	175	287	665	73
10%	53	79	67	54	44	72	166	18
15%	24	35	30	24	19	32	74	8
20%	13	20	17	13	11	18	42	5
25%	9	13	11	9	7	11	27	3
30%	6	9	7	6	5	8	18	2
PH16								
Erros	CC	NR	CR	DC	NF	AF	VR	IRC
5%	54	720	116	28	107	214	598	37
10%	13	180	29	7	27	54	149	9
15%	6	80	13	3	12	24	66	4
20%	3	45	7	2	7	13	37	2
25%	2	29	5	1	4	9	24	1
30%	1	20	3	1	3	6	17	1
PH16								
Erros	MSF	MSC	MSR	MSPA	MST	IQD	AFE	IR
5%	285	322	564	244	243	268	129	43
10%	71	80	141	61	61	92	32	11
15%	32	36	63	27	27	41	14	5
20%	18	20	35	15	15	23	8	3
25%	11	13	23	10	10	15	5	2
30%	8	9	16	7	7	10	4	1
PS1319								
Erros	CC	NR	CR	DC	NF	AF	VR	IRC
5%	29	587	93	94	213	186	450	53

Continua...

Tabela 3. Continuação...

10%	7	147	23	23	53	46	113	13
15%	3	65	10	10	24	21	50	6
20%	2	37	6	6	13	12	28	3
25%	1	23	4	4	9	7	18	2
30%	1	16	3	3	6	5	13	1
PS1319								
Erros	MSF	MSC	MSR	MSPA	MST	IQD	AFE	IR
5%	266	196	373	181	180	335	83	70
10%	66	49	93	45	45	84	21	18
15%	30	22	41	20	20	37	9	8
20%	17	12	23	11	11	21	5	4
25%	11	8	15	7	7	13	3	3
30%	7	5	10	5	5	9	2	2

CC = comprimento do caule (cm); NR = número de raízes; CR = comprimento de raiz (cm); DC = diâmetro de caule (mm); NF = número de folhas; AF = área foliar (cm<sup>2</sup>); VR = volume de raiz (mL); IRC = Índice Relativo de Clorofila; MSF = massa seca foliar (g); MSC = massa seca do caule (g); MSR = massa seca da raiz (g); MSPA = massa seca da parte aérea (g); MST = massa seca total (g); IQD = Índice de Qualidade de Mudas de Dickson; AFE = Área Foliar Específica; IR = Índice de Rodustez.

Outros estudos envolvendo dimensionamento amostral também mostraram resultado semelhantes aos encontrados neste trabalho. No milho, Toebe et al. (2014) também determinaram um tamanho amostral maior para características obtidas por pesagem do que as obtidas por medição. Para uma mesma precisão experimental os tamanhos amostrais variam de acordo com cada característica. O mesmo foi encontrado para milheto (KLEINPAUL et al., 2017), centeio (BANDEIRA et al., 2019), crotalária (SCHABARUM et al., 2018) e ervilha forrageira (CARGNELUTTI FILHO et al., 2024).

Também é possível observar que para uma mesma característica houve variação no tamanho amostral de acordo com cada clone, ainda que essa variação não tenha sido tão grande. Semelhante resultado também foi encontrado para milho (TOEBE et al. 2014; WARTHA et al., 2016) e centeio (BANDEIRA et al., 2019).

Tais resultados na prática também auxiliam o pesquisador estimar médias para as características a serem avaliadas de forma a obter a precisão experimental desejada, podendo ainda fazer essa determinação de acordo com o clone a ser avaliado.

Para o caso de se permitir apenas 5% como erro máximo da estimativa das médias e considerando o clone PS1319 por exemplo, tem-se que 587 plantas são suficientes para estimar as médias de todas as 16 variáveis avaliadas (Tabela 3). Desse modo, assumindo um experimento com delineamento inteiramente

casualizado, para a determinação da média de cada tratamento com uma precisão de 5% devem ser avaliadas 587 plantas por tratamento. Acrescentando quatro repetições por tratamento, o experimento deverá ter 147 mudas por repetição ( $587/4 = 146,75$ ).

Ainda sob as mesmas condições, baseando-se no clone PS1319 e em um delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições, ao adotar-se 10% como erro máximo da estimativa tem-se 37 mudas por repetição ( $147/4 = 36,75$ ), para 15% tem-se 17 mudas por repetição ( $65/4 = 16,25$ ), para 20% tem-se 10 mudas por repetição ( $37/4 = 9,25$ ), para 25% tem-se 6 mudas por repetição ( $23/4 = 5,75$ ) e por fim, para 30% tem-se 4 mudas por repetição ( $16/4 = 4$ ).

Agora assumindo o uso de todos os seis clones em um experimento com delineamento inteiramente casualizado e avaliando todas as 16 variáveis usadas neste estudo, a escolha do tamanho amostral será de acordo com o maior valor de tamanho encontrado na Tabela 3 para a respectiva porcentagem de erro desejada. Assim, temos que para 5% de erro máximo da estimativa das médias deverão ser avaliadas 1904 mudas por tratamento, para 10% 476 plantas, para 15% 212 mudas, para 20% 119 plantas, para 25% 76 mudas e para 30% 53 plantas.

Novamente, vale ressaltar que a escolha final quanto ao tamanho amostral a ser empregado pode variar de acordo com o clone usado, a precisão desejada, bem como a realidade das condições de realização do experimento (quantidade de recurso).

#### **1.1.4. Conclusões**

O tamanho amostral para avaliação de características obtidas por medição, pesagem, número de folhas, área foliar e número e volume de raiz aumentam nesta ordem. Quanto aos índices, o tamanho amostral aumenta na ordem IR, IRC, IQD e AFE.

Admitindo um erro de 20%, o tamanho amostral de 119 mudas atende aos seis clones utilizados nesse estudo, bem como as dezesseis variáveis avaliadas.

### 1.1.5. Referências

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711-728, 2014.

BANDEIRA, C.T.; CARGNELUTTI FILHO, A.; CHAVES, G.G.; NEU, I.M.M.; SILVEIRA, D.L.; PROCEDI, A. Suficiência amostral para estimar a média de caracteres produtivos de centeio. **Revista de Ciências Agrárias**, v.42, p.751-760, 2019.

BRASIL, Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Clones Autocompatíveis Recomendados pela CEPLAC. Teolândia, BA, CEPLAC/SEREX, 2018.

CARGNELUTTI FILHO, A.; NEU, I.M.M.; LORO, M.V.; BUBANS, V.E.; ORTIZ, V.M. Sampling sufficiency, correlation and path analysis in forage pea. **Ciência Rural**, v.54, p.e20220579, 2024. DOI: <http://doi.org/10.1590/0103-8478cr20220579>.

CARGNELUTTI FILHO, A.; SOUZA, JM de; NEU, I.M.M.; SILVEIRA, D.L.; BUBANS, V.E.; DA COSTA, S.L.; OSMARI, L.F.; OSMARI, B.F. Suficiência amostral para estimativa da média das características do trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.58, e03271, 2023.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF, 1995. 451 p.

COCHRAN, W. G. **Sampling techniques**. New York: John Wiley & Sons, ed. 3, 1977, p.428.

COLLI-SILVA, M.; PIRANI, J.R.; FERNANDES-JÚNIOR, A.J. *Theobroma in Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB23618>>. Acesso em: 19 out. 2025

DIAS, F. P. M.; PAES, É. de C.; JESUS, I. C.; PEREIRA, E. G.; NÓBREGA, J. C. de A. Composto orgânico: Efeitos no desenvolvimento de mudas de cacauero. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 2, 2020.

DICKSON, A.; LEAF, A.L.; HOSNER, J.F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forest Chronicle**, v.36, n.1, p.10-13, 1960.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATIONS OF THE UNITED NATIONS – **FAO DATABASE**. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em 20 de maio de 2025.

FREITAS, J.; JARDIM, I.; GUEDES, M. Desenvolvimento de mudas de cacau em função da concentração de biostimulante d'raz®. **Diversitas Journal**, v. 9, n. 2, 2024.

GALEANO, E. A. V.; SILVA, A. E. S.; PADOVAN, M. P.; DOUSSEAU, S.; MOREIRA, S. O.; DIAS, R. Q.; SANTANA, E. N. **Cadeia produtiva do cacau no Espírito Santo**. Incaper, Vitória – ES, 2022.

IPEA – IBGE (IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA; IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Relatório econômico**. Brasília: Ipea; IBGE, 2025.

KLEINPAUL, J.A.; CARGNELUTTI FILHO, A.; ALVES, B.M.; BURIN, C.; NEU, I.M.M.; SILVEIRA, D.L.; SIMÕES, F. M. Tamanho de amostra para estimar a média de caracteres de milho em épocas de avaliação. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.16, p.251-262, 2017.

N'DAFÁ, G.; PINTO, C.; PINTO, O.; SILVA, L. G. Crescimento inicial de mudas de cacauero fertilizado com doses de esterco bovino. **Enciclopedia Biosfera**, v.19, n. 42, 2022. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/5560>. Acesso em: 21 maio. 2024.

PIMENTEL, J. V. M. Desenvolvimento de clones de cacau utilizados para porta-enxertos. 2022.

POOLTER, H.; NIKLAS, K.J.; REICH, P. B.; OLEKSYN, J.; POOT, P.; MOMMER, L. Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control. **New Phytologist**, v. 193, n. 1, p. 30-50, 2011.

R Core Team (2024). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, R version 4.4.1 (2024-06-14), Vienna, Austria. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>

SCHABARUM, D.; CARGNELUTTI FILHO, A.; LAVEZO, A.; FOLLMANN, D.; KLEINPAUL, J.; CHAVES, G.; PEZZINI, R. Sample Size for Morphological Traits of Sunn Hemp. **Journal of Agricultural Science**, v.10, n.1, p.152-161, 2018.

SENA, W. de L.; TRINDADE, P. S. da C.; SALES, T. de M.; DA SILVA, P. A. L.; LÉLIS, A. da T.; CANTUÁRIA, P. de C.; DE ALMEIDA, S. S.M. da S.; FARIAS, A. L. F. Omissão de nutrientes em mudas de cacauero. **OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA**, v. 22, n. 1, p. 1296-1312, 2024.

SANTOS, M. B. dos.; MATIAS, M. I. de A. S.; DANTAS, J. A. da S.; SILVA, M. R. de J. M. da.; OLIVEIRA, A. L. de. O uso de microrganismos eficientes na produção de mudas de cacau. **Cadernos Macambira**, v.8, n.2, p.46–48, 2023.

SOUZA JUNIOR, J. O. **Cacau: cultivo, pesquisa e inovação**. Ilhéus – BA, Editus, 2018.

STORCK, L.; GARCIA, DC; LOPES, SJ; ESTEFANEL, V. **Experimentação vegetal**. 3.ed. Santa Maria: UFSM, 2016. 200p.

TOEBE, M.; CARGNELUTTI FILHO, A.; BURIN, C.; CASAROTTO, G.; HAESBAERT, F.M. Tamanho de amostra para estimativa da média e do coeficiente de variação em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, p.860-871, 2014.

WARTHA, CA; CARGNELUTTI FILHO, A.; LÚCIO, AD; FOLLMANN, DN; KLEINPAUL, JA; SIMÕES, FM Tamanhos amostrais para estimativa de valores médios para

características de pendão em genótipos de milho. **Genética e Pesquisa Molecular**, v.15, gmr15049151, 2016.

## 1.2. TAMANHO ÓTIMO DE PARCELA NA EXPERIMENTAÇÃO COM MUDAS CLONAIS DE CACAUEIRO

### Resumo

O cacau é uma cultura de grande relevância econômica para o Brasil e já passou por diversos processos de melhoramento que, entre outras coisas, possibilitaram a obtenção de vários clones autocompatíveis. Para que isso se perpetue a execução adequada e confiável de experimentos científicos é essencial e quantificar o material necessário para a realização desses experimentos, ou seja o tamanho das parcelas, é uma etapa importante, sendo necessário para isso basear-se em uma justificativa científica para escolha do tamanho de parcela. Na literatura, variados tamanhos de parcela são adotados na experimentação com mudas. Por isso, objetivou-se determinar o tamanho ótimo de parcela para a experimentação com mudas clonais de cacau. O método adotado foi o método de máxima curvatura modificado utilizando uma simulação bootstrap de reamostragem com 2000 reposições. Foram avaliadas os clones CCN10, CCN51, CP2204, CP2176, PS1319 e PH16, com base em 13 características morfológicas e três índices de qualidade usados em estudos de caracterização morfológica de mudas. O tamanho ótimo de parcela para a experimentação com mudas clonais de cacau encontrado é de nove plantas por parcela experimental.

**Palavras-chave:** *Theobroma cacao* L.; Planejamento experimental; Reamostragem; Bootstrap; Precisão experimental.

### Abstract

Cocoa is a crop of great economic importance for Brazil and has undergone several breeding processes that, among other things, have enabled the production of several self-compatible clones. For this to continue, the adequate and reliable execution of scientific experiments is essential, and quantifying the material needed to carry out these experiments, in other words, the size of the plots, is an important step that should

be based on a scientific justification. In the literature, various plot sizes are adopted in experiments with seedlings. Therefore, the objective was to determine the optimal plot size for experimentation with clonal cocoa seedlings. The maximum curvature modified method, using a bootstrap simulation of resampling with 2000 was adopted. The clones CCN10, CCN51, CP2204, CP2176, PS1319, and PH16 were evaluated based on 13 morphological characteristics and three quality indexes used in studies of morphological characterization of seedlings. The optimal plot size for experimentation with clonal cocoa seedlings is nine plants per experimental plot.

**Keywords:** *Theobroma cacao* L.; Experimental design; Resampling; Bootstrap; Experimental precision.

### 1.2.1. Introdução

O cacau (*Theobroma cacao* L.) é uma cultura de grande relevância econômica para o Brasil, visto que o país ocupa a quinta posição no ranking mundial com 296.145 toneladas produzidos em 2023, ficando atrás apenas da Costa do Marfim, Gana, Indonésia e Equador, segundo a FAO (2025). Em relação a produção interna, o estado do Espírito Santo ocupa uma posição de destaque sendo o terceiro maior produtor entre os estados, onde por sua vez, o município de Linhares é o que mais produz, com 8321 toneladas produzidas em 2023 (IPEA, 2025).

Tal relevância é apenas o reflexo do longo histórico que o Brasil tem com a produção de cacau, que data seus incentivos a produção desde meados dos anos 1930. Desde então a espécie vem passando por diversos processos de melhoramento, como descrito por Souza Junior (2018), que permitiram a obtenção de plantas com alta produtividade, resistência a doenças e pragas, frutos e sementes de qualidade e contornou o desafio da autoincompatibilidade da espécie, obtendo-se plantas autocompatíveis. Tal inovação contribuiu para a reorganização do sistema de produção de cacau, bem como a expansão das suas fronteiras agrícolas.

Essas inovações possibilitaram a existência de uma quantidade considerável de clones de cacau, o que por si só representa uma grande variabilidade que deve ser levada em consideração não só em campo, como também na realização experimentos científicos com mudas clonais. Portanto, é importante que experimentos que se propõem a trabalhar com mudas clonais sejam adequadamente planejados, priorizando a alta precisão experimental, bem como a confiabilidade dos resultados obtidos.

No processo de planejamento, segundo Ribeiro et al. (2024) após definir as características a serem estudadas, os pesquisadores precisam quantificar o material necessário para a realização de um experimento, sendo essencial determinar tanto o delineamento a ser adotado quanto ao tamanho de cada parcela. Diversos tamanhos de parcela são utilizados em experimentos com mudas clonais de cacau, como um (FREITAS et al. 2024), três (N'FAFÁ et al. 2024), cinco (PIMENTEL, 2022) e 12 (SOUZA JUNIOR, et al., 2011), por exemplo. Isso evidencia a necessidade de uma justificativa científica na qual basear a escolha do tamanho de parcela. Dessa forma, a caracterização do tamanho ótimo de parcela é uma ferramenta importante para subsidiar informações que auxiliem experimentos futuros, visto que se o tamanho da parcela for menor do que o necessário, estimativas menos precisas serão obtidas e se as parcelas forem utilizadas em tamanhos excessivos, tempo e recursos serão gastos mais do que o necessário (GUARÇONI et al., 2020).

Na literatura existem diferentes metodologias para determinar o tamanho ótimo de parcela, que em sua maioria variam do método de máxima curvatura modificado desenvolvido por Meier e Lessman (1971), das quais várias espécies tiveram seus tamanhos ótimos de parcela determinados como o café conilon LB1 (CARRAFA et al., 2024), milho, *Crotalaria ochroleuca* e *Crotalaria spectabilis* (CARGNELUTTI FILHO et al., 2021), grão-de-bico (MAGALHÃES et al., 2023), café arábica (GUARÇONI et al., 2020), maracujá roxo (LOPES et al., 2023), pimenta-de-cheiro (ALVES et al., 2022), girassol (LOHMOR et al., 2017), entre outras.

Mesmo com a evidente relevância do assunto, ainda não foram encontrados trabalhos realizados com mudas clonais de cacau que objetivassem a determinação do tamanho ótimo de parcela. Portanto, visando aumentar a eficiência e otimizar a relação custo/benefício dos experimentos realizados com mudas clonais de cacau, estudos que buscam determinar o tamanho ótimo de parcela para a espécie são essenciais.

Diante do exposto, objetivou-se por meio deste trabalho, determinar o tamanho ótimo de parcela de cacau, através do método de máxima curvatura modificado segundo Meier e Lessman (1971) utilizando uma simulação bootstrap de reamostragem com 2000 reposições conforme Celanti et al. (2016), para avaliar os seis principais clones de cacau comercializadas no município de Linhares – ES, com base em 13 características morfológicas e três índices de qualidade usados em estudos de caracterização morfológica de mudas.

### 1.2.2. Material e Métodos

O trabalho foi realizado com mudas clonais de cacau (*Theobroma cacao* L.) totalizando 300 plantas divididas em 50 mudas para cada um dos seis diferentes clones. Essas plantas foram obtidas no viveiro Aliança, localizado no município de Linhares, norte do estado do Espírito Santo, Brasil. O clima da região segundo Koppen é do tipo Aw: tropical quente úmido com chuvas no verão e inverno seco (ALVARES et al., 2014).

As mudas utilizadas são dos clones recomendadas pela CEPLAC (Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira) (BRASIL, 2018): CCN10, CCN51, CP2204, CP2176, PS1319 e PH16. Todas tiveram como porta enxerto o clone TSH1188, obtido via seminífera, foram cultivadas em sacolas com substrato padrão usado pelo viveiro e foram obtidas com cerca de cinco meses de idade.

As mudas foram avaliadas na Fazenda Experimental de Linhares do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), também localizada no município de Linhares. As avaliações realizadas visaram a caracterização morfológica das mudas, portanto foram avaliadas as seguintes características: comprimento de caule (CC), por meio de uma régua graduada em centímetros (cm) e medindo da base do coleto ao ápice da planta; diâmetro do coleto (DC), através do paquímetro digital de precisão em milímetros (mm) e medindo na região do coleto; comprimento de raiz (CR), por meio da régua graduada em centímetros (cm) e medindo da base ao ápice da raiz principal; número de raízes (NR) através da contagem; volume de raiz (VR) colocando as raízes em proveta graduada (mL), contendo um volume conhecido de água e medindo o volume deslocado; número de folhas (NF) por meio da contagem das folhas de cada planta; área foliar (AF) através do medidor de área foliar (LI-3100C) em centímetros quadrados (cm<sup>2</sup>); e o teor relativo de clorofila estimado pelo medidor portátil SPAD (modelo 502, Konica Minolta®, Japão) em uma folha completamente expandida.

Também foi determinado o acúmulo de matéria seca das mudas. Cada órgão da planta foi devidamente fracionado e seco em estufa de circulação forçada a 65 °C até peso constante. Posteriormente os órgãos fracionados foram pesados em uma balança analítica de precisão em gramas (g) obtendo-se a matéria seca foliar (MSF), matéria seca do caule (MSC), matéria seca de raiz (MSR), a matéria seca da parte

aérea (MSPA) por meio da adição de MSF e MSC e matéria seca total (MST) através da soma de MSPA e MSR. A partir disso foram calculados alguns índices: Índice de Qualidade de Mudanças de Dickson (IQD) segundo a equação 1 (DICKSON, 1960); Índice de Área Foliar Específica (AFE), dado pela divisão entre AF e MSF (POOLTER, et al., 2011); e o Índice de Robustez calculado a partir da razão entre CC e DC (CARNEIRO, 1995).

$$IQD = \frac{MST}{\frac{CC + MSPA}{DC + MSR}} \quad (\text{equação 1})$$

Antes de se determinar o tamanho ótimo da parcela, foi feita análise estatística descritiva de cada uma das dezesseis características para as 50 mudas clonais de cada um das seis clonees de cacaueteiro: média ( $\hat{m}$ ); mediana (Md), valor mínimo (min); valor máximo (max); desvio padrão (s); coeficiente de variação (CV).

A determinação do tamanho ótimo de parcela foi feita para cada uma das dezesseis variáveis pela metodologia da máxima curvatura modificada, segundo Meier e Lessman (1971) usando uma simulação bootstrap de reamostragem com dados das 50 mudas e 2000 reposições, segundo Celanti et al. (2016). Esta configuração atende às orientações de Chernick e LaBudde (2011), que apontam que, para simulações bootstrap deva-se usar amostra inicial de tamanho mínimo de  $n = 20$  e no mínimo 2000 reamostragens.

A análise dos dados de cada variável para cada tamanho de parcela projetado ( $X_i$ ) gera valores de coeficiente de variação ( $CV_i$ ). A relação entre os valores de  $CV_i$  e os respectivos  $X_i$  permite gerar a equação do modelo potência conforme equação 2, onde os valores de  $\hat{\beta}_0$  e de  $\hat{\beta}_1$  são estimados mediante a transformação logarítmica da função potência.

$$CV_i = \hat{\beta}_0 X_i^{-\hat{\beta}_1} \quad (\text{equação 2})$$

Meier e Lessman (1971) estimaram o tamanho ótimo de parcela para a máxima curvatura ( $X_0$ ) conforme equação 3.

$$X_0 = \left[ \frac{\hat{\beta}_0^2 \hat{\beta}_1^2 (2\hat{\beta}_1 + 1)}{\hat{\beta}_1 + 2} \right]^{(1/2 + 2\hat{\beta}_1)} \quad (\text{equação 3})$$

Representou-se graficamente o tamanho ótimo de parcela juntamente com a relação entre os valores de coeficiente de variação e dos tamanhos de parcela.

Para verificar a correlação entre as parcelas contíguas, determinou-se o índice de heterogeneidade (b) segundo Smith (1938), dado pela equação 4, conforme

Lorentz et al. (2012), sendo que valores de  $b$  mais próximos a zero indicam alta correlação e valores mais próximos a um indicam baixa correlação.

$$b = 2\hat{\beta}_1 \quad (\text{equação 4})$$

A partir das estimativas  $\hat{\beta}_0$  e  $\hat{\beta}_1$  obtidas a partir da equação 2, e, levando-se em conta o tamanho ótimo de parcela ( $X_0$ ) encontrado pela equação 3, estimou-se o coeficiente de variação correspondente ao tamanho ótimo de parcela ( $CV_{X_0}$ ) conforme equação 5 para cada uma das dezesseis características nas mudas clonais das seis variedades de cacaueteiro.

$$CV_{X_0} = \hat{\beta}_0 X_0^{-\hat{\beta}_1} \quad (\text{equação 5})$$

Considerando que, as análises fornecerão diferentes tamanhos ótimos de parcela ( $X_0$ ) entre as dezesseis variáveis, e que, no entanto, ao instalar o experimento, será definido um único tamanho de parcela, esse tamanho foi usado da característica que apresentou o maior tamanho ótimo de parcela médio ( $\bar{X}_0$ ).

A fim de verificar a aplicabilidade do tamanho ótimo de parcela, realizou-se o teste de média segundo Tukey admitindo a avaliação comparativa das seis variedades ( $I = 6$ ) para as dezesseis variáveis em estudo num delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições ( $J = 4$ ), número esse necessário para satisfazer o número mínimo de parcelas experimentais segundo orientações de Pimentel-Gomes (2009). A diferença mínima significativa (DMS) para o teste de Tukey é apresentada na equação 6.

$$DMS = q_{[5\%;I;I(J-1)]} \sqrt{\frac{QMRes}{J}} \quad (\text{equação 6})$$

Na equação 6:  $q$  é a amplitude total estudentizada, obtida a 5% de probabilidade para  $I$  tratamentos e  $I(J-1)$  graus de liberdade do resíduo;  $QMRes$  é o valor do quadrado médio do resíduo, obtido segundo a equação 7, onde  $\overline{CV_{\bar{X}_0}}$  é o valor médio obtido dos  $CV_{X_0}$  das seis variedades, valores esses usando  $\bar{X}_0$  achado anteriormente e  $\hat{m}_i$  representa a média das seis variedades para a característica.

$$QMRes = \left[ \frac{(\overline{CV_{\bar{X}_0}})(\hat{m}_i)}{100} \right]^2 \quad (\text{equação 7})$$

Conforme sugerido por Ribeiro et al. (2024) determinou-se o DMS para outros cenários, no caso, para situações em que o número de mudas por parcela fosse inferior ao tamanho ótimo do experimento e a capacidade de distinguir as médias.

As análises foram feitas com uso da linguagem R (R TEAM DEVELOPMENT, 2024) sendo que, para o caso da simulação bootstrap usou-se procedimentos conforme script publicado por Celanti et al. (2016). Por se tratar de uma variável aleatória discreta, o tamanho ótimo de parcela final foi apresentado com número inteiro, adotando-se o arredondamento para o inteiro superior (RIBEIRO et al., 2024).

### 1.2.3. Resultados e Discussão

Na Tabela 1 encontra-se a estatística descritiva contendo média ( $\hat{m}$ ), mediana (Md), valor mínimo (min), valor máximo (max), desvio padrão (s) e CV para dezesseis características das mudas de seis variedades clonais de cacau. Os clones CCN10, CCN50 e PS1319 apresentaram os menores valores de CC, já os clones CP2176 e CP2204 apresentaram os maiores valores de CR. Para estudos de tamanho ótimo de parcela não há influência da média quando a metodologia de Meier e Lessman (1971) é adotada e sim da variabilidade indicada pelos valores do CV. Por isso, espera-se valores menores de tamanho ótimo de parcela para clones cujas características apresentem CV próximo a 10% e maiores para as que apresentem CV superior a 20%.

Tabela 1 - Média ( $\hat{m}$ ), mediana (Md), valor mínimo (min), valor máximo (max), desvio padrão (s) e coeficiente de variação (CV, em %) para dezesseis variáveis em mudas de seis variedades clonais de cacau, avaliadas em 50 plantas de cada variedade

Estatística	CCN10							
	CC	NR	CR	DC	NF	AF	VR	IRC
$\hat{m}$	53,74	2,40	33,27	10,28	13,76	1339,11	8,92	37,73
Md	54,45	2,00	31,70	10,02	13,00	1364,31	8,00	37,70
min	37,90	1,00	19,50	7,45	4,00	392,41	3,00	22,80
max	68,50	6,00	60,30	17,73	32,00	2241,99	20,00	58,50
s	7,89	1,48	8,17	1,36	4,39	422,62	3,45	6,22
CV	14,68	61,86	24,57	13,27	31,92	31,56	38,63	16,48
Estatística	CCN10							
	MSF	MSC	MSR	MSPA	MST	IQD	AFE	IR
$\hat{m}$	5,84	17,12	2,50	22,96	25,46	1,71	246,09	5,30
Md	5,98	16,34	2,37	23,05	24,73	1,65	229,29	5,27
min	1,56	5,85	0,63	10,61	12,18	0,59	78,89	3,30
max	10,56	31,93	5,64	38,17	40,78	3,23	465,88	7,85
s	2,14	6,21	1,12	6,82	7,11	0,63	79,99	1,00
CV	36,64	36,26	44,73	29,69	27,90	36,75	32,51	18,84
Estatística	CCN51							
	CC	NR	CR	DC	NF	AF	VR	IRC
$\hat{m}$	47,64	3,06	31,38	9,54	13,28	1032,76	12,12	38,46
Md	47,65	3,00	30,40	9,33	13,00	919,70	12,00	37,45

Continua...

Tabela 1. Continuação...

min	30,50	1,00	20,00	6,80	5,00	264,19	4,00	27,20
max	64,90	7,00	57,80	13,83	25,00	2101,46	24,00	52,60
s	6,70	1,53	6,81	1,55	4,25	386,25	4,92	6,02
CV	14,07	50,3	21,68	16,30	31,99	37,40	40,61	15,64
Esta- tística	CCN51							
	MSF	MSC	MSR	MSPA	MST	IQD	AFE	IR
$\hat{m}$	4,51	16,12	3,20	20,63	23,83	2,02	246,35	5,09
Md	4,19	15,38	3,04	19,83	23,10	1,87	227,65	5,04
min	1,12	2,32	1,24	6,36	7,96	0,66	90,26	3,52
max	9,53	27,47	7,27	35,26	40,51	3,76	684,51	8,04
s	1,75	5,46	1,35	6,54	7,06	0,71	99,17	0,92
CV	38,88	33,88	42,23	31,72	29,64	34,87	40,26	18,13
Esta- tística	CP2176							
	CC	NR	CR	DC	NF	AF	VR	IRC
$\hat{m}$	55,24	2,14	34,62	10,74	12,70	1040,49	14,72	33,43
Md	53,85	2,00	31,55	10,15	12,00	1065,90	12,50	33,20
min	36,90	1,00	20,30	7,19	5,00	190,16	3,00	21,40
max	82,90	6,00	73,20	15,62	27,00	2477,39	46,00	44,50
s	10,30	1,20	11,14	2,08	4,99	484,18	7,83	6,44
CV	18,65	55,86	32,18	19,44	39,33	46,53	53,17	19,25
Esta- tística	CP2176							
	MSF	MSC	MSR	MSPA	MST	IQD	AFE	IR
$\hat{m}$	4,63	20,65	3,17	25,28	28,45	1,74	260,13	5,26
Md	4,52	18,51	2,67	21,98	24,81	1,49	249,39	5,23
min	0,75	7,31	0,56	11,01	12,64	0,50	71,71	3,31
max	15,12	64,02	9,39	79,14	88,53	6,50	681,15	7,40
s	2,80	10,36	1,97	12,30	13,54	1,04	117,56	1,07
CV	60,44	50,20	62,22	48,66	47,59	59,88	45,19	20,34
Esta- tística	CP2204							
	CC	NR	CR	DC	NF	AF	VR	IRC
$\hat{m}$	55,76	2,58	31,08	9,07	13,98	1053,27	23,63	34,69
Md	56,90	2,00	29,60	9,02	13,00	924,29	21,50	34,50
min	34,00	1,00	17,60	5,38	6,00	144,23	10,00	24,20
max	78,80	7,00	72,30	13,88	24,00	5070,12	59,00	47,80
s	9,69	1,56	8,69	1,52	4,56	702,91	9,16	6,03
CV	17,39	60,70	27,98	16,74	32,59	66,74	38,78	17,37
Esta- tística	CP2204							
	MSF	MSC	MSR	MSPA	MST	IQD	AFE	IR
$\hat{m}$	4,87	11,07	6,02	15,95	21,97	2,51	226,94	6,28
Md	5,06	10,16	5,68	14,96	21,94	2,41	191,25	6,39
min	1,78	2,80	1,64	6,05	9,28	0,85	37,17	3,74
max	9,61	32,28	11,45	37,95	48,19	5,40	1007,98	8,47
s	1,76	4,91	2,46	5,81	7,22	1,06	145,62	1,33
CV	36,28	44,37	40,83	36,44	32,88	42,14	64,17	21,20

Continua...

Tabela 1. Continuação...

Esta- tística	PH16							
	CC	NR	CR	DC	NF	AF	VR	IRC
$\hat{m}$	54,97	1,96	30,61	9,57	17,50	1148,93	16,36	42,24
Md	54,15	1,00	28,85	9,61	17,00	1131,14	14,00	41,90
min	32,20	1,00	18,60	6,90	8,00	248,97	3,00	29,30
max	77,70	5,00	50,20	12,78	27,00	2018,06	55,00	64,20
s	10,03	1,31	8,21	1,26	4,51	418,32	9,95	6,39
CV	18,24	66,77	26,82	13,21	25,80	36,41	60,83	15,13
Esta- tística	PH16							
	MSF	MSC	MSR	MSPA	MST	IQD	AFE	IR
$\hat{m}$	6,15	16,05	3,58	22,19	25,77	2,08	198,95	5,77
Md	5,73	14,62	3,31	20,90	24,57	1,97	189,53	5,66
min	1,14	4,87	0,55	8,83	9,86	0,45	80,47	3,89
max	11,71	39,67	9,67	48,76	54,66	4,57	346,94	8,00
s	2,58	7,16	2,11	8,63	9,99	0,99	56,26	0,95
CV	42,00	44,64	59,09	38,88	38,76	47,75	28,28	16,38
Esta- tística	PS1319							
	CC	NR	CR	DC	NF	AF	VR	IRC
$\hat{m}$	50,26	1,94	31,74	5,90	10,00	837,72	8,56	41,47
Md	50,75	1,00	29,40	5,60	10,00	843,95	8,00	41,50
min	36,20	1,00	17,60	3,26	1,00	120,86	2,00	24,60
max	82,90	5,00	54,30	9,20	18,00	1659,42	22,00	54,70
s	6,73	1,17	7,61	1,42	3,63	283,98	4,52	7,49
CV	13,40	60,20	23,98	24,10	36,31	33,90	52,78	18,07
Esta- tística	PS1319							
	MSF	MSC	MSR	MSPA	MST	IQD	AFE	IR
$\hat{m}$	4,12	17,13	2,52	21,25	23,77	1,36	214,54	8,88
Md	3,97	16,07	2,30	20,18	22,81	1,20	209,54	9,22
min	0,37	6,99	0,50	8,49	8,99	0,34	92,65	5,28
max	9,17	33,26	5,67	39,58	44,16	3,27	326,65	13,20
s	1,67	5,97	1,21	7,11	7,93	0,62	48,74	1,85
CV	40,58	34,84	48,08	33,45	33,36	45,54	22,72	20,84

CC = comprimento do caule (cm); NR = número de raízes; CR = comprimento de raiz (cm); DC = diâmetro de caule (mm); NF = número de folhas; AF = área foliar (cm<sup>2</sup>); VR = volume de raiz (mL); IRC = Índice Relativo de Clorofila; MSF = massa seca foliar (g); MSC = massa seca do caule (g); MSR = massa seca da raiz (g); MSPA = massa seca da parte aérea (g); MST = massa seca total (g); IQD = Índice de Qualidade de Mudas de Dickson; AFE = Área Foliar Específica; IR = Índice de Robustez.

As estatísticas referentes as equações 2, 3, 4 e 5 encontram-se na Tabela 2 e foram obtidas a partir da relação entre os diferentes tamanhos de parcela e seus respectivos valores de CV. Ainda que os valores calculados para o índice b não entrem diretamente na metodologia de Meier e Lessman (1971), este relaciona-se a determinação do tamanho ótimo de parcela, visto que o termo  $\hat{\beta}_1$ , que está na equação 3, é uma estimativa de um parâmetro presente na equação 1 e na equação 2, responsável por estimar o tamanho ótimo de parcela segundo a metodologia usada.

Além disso, o índice  $b$  é importante por ser um bom indicador da relação entre as plantas vizinhas, onde valores próximos a zero indicam condições homogêneas entre as plantas, de acordo com as características de análise, enquanto valores próximos a unidade indicam heterogeneidade entre as plantas vizinhas. No presente estudo, os valores obtidos de  $b$  mostram-se próximos a unidade para a maioria das determinações, o que indica a presença de uma heterogeneidade entre as plantas vizinhas. Por isso, a utilização do índice  $b$  determinado por meio da simulação bootstrap segundo Celanti et al. (2016) é recomendada ao se trabalhar com mudas clonais de cacau. Na prática, o uso de valores equivalentes à unidade é menos custoso por eliminar a necessidade de se agrupar as plantas, uma vez que a adoção da simulação permite uma reamostragem aleatória e com reposição.

Tabela 2 - Equação estimada, coeficiente de determinação ( $R^2$ , em %), índice de heterogeneidade de Smith ( $b$ ), tamanho ótimo de parcela ( $X_0$ ) e coeficiente de variação para  $X_0$  ( $CV_{X_0}$ ) para dezesseis características (Car) em mudas de seis variedades clonais de cacau, usando a metodologia de Meier e Lessman com simulação bootstrap

Variedade	Car	Equação	$R^2(\%)$	$b$	$X_0$	$CV_{X_0}$
CCN10		$\hat{Y} = 14,5457x^{-0,5056}$	0,9999	1,0086	3,50	7,72
CCN51		$\hat{Y} = 14,1059x^{-0,5068}$	0,9999	1,0164	3,43	7,55
CP2176	CC	$\hat{Y} = 18,1082x^{-0,4949}$	0,9999	0,9886	4,02	9,10
CP2204		$\hat{Y} = 17,2783x^{-0,5007}$	0,9999	1,0032	3,91	8,73
PH16		$\hat{Y} = 15,5650x^{-0,5159}$	0,9999	1,0354	4,14	8,92
PS1319		$\hat{Y} = 13,2847x^{-0,4825}$	0,9996	0,9597	3,24	7,54
Variedade	Car	Equação	$R^2(\%)$	$b$	$X_0$	$CV_{X_0}$
CCN10		$\hat{Y} = 60,4910x^{-0,5042}$	0,9999	1,0156	9,01	19,96
CCN51		$\hat{Y} = 50,2366x^{-0,5098}$	0,9999	1,0224	7,97	17,44
CP2176	NR	$\hat{Y} = 54,0725x^{-0,4940}$	0,9998	0,9812	8,36	18,94
CP2204		$\hat{Y} = 60,3733x^{-0,4998}$	0,9998	0,9967	9,00	20,14
PH16		$\hat{Y} = 66,4625x^{-0,5014}$	0,9999	1,0091	9,60	21,39
PS1319		$\hat{Y} = 59,8986x^{-0,4998}$	0,9998	0,9994	8,95	20,03
Variedade	Car	Equação	$R^2(\%)$	$b$	$X_0$	$CV_{X_0}$
CCN10		$\hat{Y} = 24,6883x^{-0,4971}$	0,9999	0,9986	4,95	11,15
CCN51		$\hat{Y} = 21,3978x^{-0,4973}$	0,9999	0,9967	4,50	10,13
CP2176	CR	$\hat{Y} = 31,3481x^{-0,5028}$	0,9999	1,0024	5,82	12,93
CP2204		$\hat{Y} = 27,9414x^{-0,5000}$	0,9998	1,0018	5,39	12,02
PH16		$\hat{Y} = 26,4941x^{-0,4883}$	0,9994	0,9788	5,17	11,88
PS1319		$\hat{Y} = 23,8298x^{-0,4940}$	0,9999	0,9846	4,83	10,95
Variedade	Car	Equação	$R^2(\%)$	$b$	$X_0$	$CV_{X_0}$
CCN10	DC	$\hat{Y} = 13,2957x^{-0,5085}$	0,9997	1,0177	3,30	7,24
CCN51		$\hat{Y} = 15,9599x^{-0,4984}$	0,9997	0,9961	3,70	8,31

Continua...

Tabela 2. Continuação...

CP2176		$\hat{Y} = 19,4767x^{-0,5105}$	0,9999	1,0183	4,26	9,30
CP2204		$\hat{Y} = 17,0466x^{-0,5184}$	0,9995	1,0348	3,92	8,40
PH16		$\hat{Y} = 12,8102x^{-0,4949}$	0,9999	0,9899	3,19	7,22
PS1319		$\hat{Y} = 23,6607x^{-0,5009}$	0,9999	1,0013	4,82	10,76
Variedade	Car	Equação	R <sup>2</sup> (%)	b	X <sub>0</sub>	CV <sub>X<sub>0</sub></sub>
CCN10		$\hat{Y} = 31,8550x^{-0,4960}$	0,9999	1,0023	5,87	13,24
CCN51		$\hat{Y} = 31,8958x^{-0,5042}$	0,9999	1,0069	5,89	13,05
CP2176	NF	$\hat{Y} = 39,7660x^{-0,5080}$	0,9999	1,0165	6,83	14,99
CP2204		$\hat{Y} = 31,7725x^{-0,5060}$	0,9996	0,9991	5,88	12,97
PH16		$\hat{Y} = 26,0036x^{-0,4973}$	0,9999	0,9871	5,13	11,54
PS1319		$\hat{Y} = 36,3939x^{-0,5037}$	0,9999	1,0085	6,43	14,25
Variedade	Car	Equação	R <sup>2</sup> (%)	b	X <sub>0</sub>	CV <sub>X<sub>0</sub></sub>
CCN10		$\hat{Y} = 31,2276x^{-0,4961}$	0,9996	0,9981	5,79	13,07
CCN51		$\hat{Y} = 36,6020x^{-0,5032}$	0,9997	1,0080	6,45	14,32
CP2176	AF	$\hat{Y} = 46,0719x^{-0,4943}$	0,9999	0,9931	7,51	17,01
CP2204		$\hat{Y} = 68,1926x^{-0,5034}$	0,9997	1,0038	9,76	21,66
PH16		$\hat{Y} = 36,7946x^{-0,5057}$	0,9998	1,0129	6,48	14,30
PS1319		$\hat{Y} = 34,1450x^{-0,4897}$	0,9996	0,9789	6,13	14,05
Variedade	Car	Equação	R <sup>2</sup> (%)	b	X <sub>0</sub>	CV <sub>X<sub>0</sub></sub>
CCN10		$\hat{Y} = 37,9463x^{-0,4959}$	0,9996	0,9843	6,60	14,89
CCN51		$\hat{Y} = 40,2223x^{-0,4984}$	0,9998	1,0027	6,86	15,40
CP2176	VR	$\hat{Y} = 52,8962x^{-0,5012}$	0,9996	1,0035	8,24	18,38
CP2204		$\hat{Y} = 39,0496x^{-0,4972}$	0,9999	0,9904	6,73	15,14
PH16		$\hat{Y} = 61,2869x^{-0,5055}$	0,9999	1,0180	9,09	20,08
PS1319		$\hat{Y} = 53,4319x^{-0,5110}$	0,9989	1,0077	8,31	18,11
Variedade	Car	Equação	R <sup>2</sup> (%)	b	X <sub>0</sub>	CV <sub>X<sub>0</sub></sub>
CCN10		$\hat{Y} = 15,8709x^{-0,4993}$	0,9998	0,9979	3,69	8,27
CCN51		$\hat{Y} = 15,5654x^{-0,5113}$	0,9998	1,0182	3,67	8,00
CP2176	IRC	$\hat{Y} = 19,1359x^{-0,0,5003}$	0,9999	1,0037	4,18	9,35
CP2204		$\hat{Y} = 16,9971x^{-0,4910}$	0,9999	0,9836	3,84	8,78
PH16		$\hat{Y} = 114,6263x^{-0,4927}$	0,9996	0,9827	3,48	7,91
PS1319		$\hat{Y} = 17,5637x^{-0,4944}$	0,9999	0,9956	3,94	8,92
Variedade	Car	Equação	R <sup>2</sup> (%)	b	X <sub>0</sub>	CV <sub>X<sub>0</sub></sub>
CCN10		$\hat{Y} = 36,5516x^{-0,5081}$	0,9997	1,0230	6,46	14,17
CCN51		$\hat{Y} = 38,6255x^{-0,5085}$	0,9999	1,0380	6,70	14,69
CP2176	MSF	$\hat{Y} = 59,4525x^{-0,4988}$	0,9997	0,9980	8,91	19,97
CP2204		$\hat{Y} = 35,7569x^{-0,4911}$	0,9999	0,9840	6,33	14,45
PH16		$\hat{Y} = 42,5552x^{-0,5084}$	0,9999	1,0221	7,14	15,66
PS1319		$\hat{Y} = 40,7033x^{-0,4944}$	0,9993	0,9857	6,91	15,65
Variedade	Car	Equação	R <sup>2</sup> (%)	b	X <sub>0</sub>	CV <sub>X<sub>0</sub></sub>
CCN10	MSC	$\hat{Y} = 36,7193x^{-0,5040}$	0,9995	1,0166	6,47	14,33
CCN51		$\hat{Y} = 33,2522x^{-0,5054}$	0,9998	1,0184	6,06	13,38

Continua...

Tabela 2. Continuação...

CP2176		$\hat{Y} = 51,5527x^{-0,5189}$	0,9996	1,0351	8,12	17,39
CP2204		$\hat{Y} = 43,5627x^{-0,4863}$	0,9998	0,9773	7,22	16,66
PH16		$\hat{Y} = 43,2450x^{-0,4917}$	0,9996	0,9827	7,19	16,39
PS1319		$\hat{Y} = 33,9125x^{-0,4883}$	0,9998	0,9768	6,10	14,02
Variedade	Car	Equação	R <sup>2</sup> (%)	b	X <sub>0</sub>	CV <sub>X<sub>0</sub></sub>
CCN10		$\hat{Y} = 44,5271x^{-0,4976}$	0,9997	0,9966	7,34	16,51
CCN51		$\hat{Y} = 42,8919x^{-0,5155}$	0,9998	1,0380	7,19	15,52
CP2176	MSR	$\hat{Y} = 60,8135x^{-0,5019}$	0,9995	0,9931	9,04	20,13
CP2204		$\hat{Y} = 41,5407x^{-0,5058}$	0,9995	1,0146	7,02	15,50
PH16		$\hat{Y} = 59,5007x^{-0,5050}$	0,9999	1,0247	8,92	19,71
PS1319		$\hat{Y} = 48,2402x^{-0,5115}$	0,9996	1,0098	7,76	16,91
Variedade		Car	Equação	R <sup>2</sup> (%)	b	X <sub>0</sub>
CCN10		$\hat{Y} = 29,9765x^{-0,5060}$	0,9997	1,0201	5,66	12,47
CCN51		$\hat{Y} = 31,2541x^{-0,5057}$	0,9999	1,0218	5,81	12,83
CP2176	MSPA	$\hat{Y} = 49,8902x^{-0,5166}$	0,9995	1,0311	7,94	17,10
CP2204		$\hat{Y} = 35,7928x^{-0,4855}$	0,9998	0,9749	6,32	14,62
PH16		$\hat{Y} = 38,2560x^{-0,4973}$	0,9998	0,9955	6,63	14,93
PS1319		$\hat{Y} = 32,7361x^{-0,4872}$	0,9997	0,9738	5,96	13,72
Variedade		Car	Equação	R <sup>2</sup> (%)	b	X <sub>0</sub>
CCN10		$\hat{Y} = 28,2882x^{-0,5073}$	0,9998	1,0220	5,44	11,97
CCN51		$\hat{Y} = 29,4964x^{-0,5073}$	0,9999	1,0246	5,60	12,31
CP2176	MST	$\hat{Y} = 48,6373x^{-0,5156}$	0,9994	1,0282	7,81	16,85
CP2204		$\hat{Y} = 32,6382x^{-0,4927}$	0,9998	0,9889	5,96	13,55
PH16		$\hat{Y} = 38,4106x^{-0,4993}$	0,9998	1,0014	6,66	14,91
PS1319		$\hat{Y} = 32,7720x^{-0,4898}$	0,9997	0,9777	5,97	13,66
Variedade		Car	Equação	R <sup>2</sup> (%)	b	X <sub>0</sub>
CCN10		$\hat{Y} = 37,2342x^{-0,5048}$	0,9999	1,0161	6,53	14,44
CCN51		$\hat{Y} = 35,4316x^{-0,5108}$	0,9999	1,0283	6,33	13,81
CP2176	IQD	$\hat{Y} = 60,2270x^{-0,5132}$	0,9992	1,0194	8,99	19,51
CP2204		$\hat{Y} = 42,6960x^{-0,5052}$	0,9996	1,0122	7,15	15,80
PH16		$\hat{Y} = 47,7105x^{-0,4985}$	0,9999	1,0038	7,69	17,26
PS1319		$\hat{Y} = 45,0405x^{-0,5003}$	0,9995	0,9933	7,40	16,54
Variedade		Car	Equação	R <sup>2</sup> (%)	b	X <sub>0</sub>
CCN10		$\hat{Y} = 31,7918x^{-0,4903}$	0,9999	0,9804	5,85	13,37
CCN51		$\hat{Y} = 39,8540x^{-0,4986}$	0,9994	0,9790	6,82	15,30
CP2176	AFE	$\hat{Y} = 42,9280x^{-0,4867}$	0,9998	0,9727	7,15	16,48
CP2204		$\hat{Y} = 64,8217x^{-0,5049}$	0,9999	1,0021	9,44	20,87
PH16		$\hat{Y} = 27,5256x^{-0,4987}$	0,9998	0,9936	5,33	11,95
PS1319		$\hat{Y} = 22,9469x^{-0,5140}$	0,994	1,0309	4,75	10,30
Variedade		Car	Equação	R <sup>2</sup> (%)	b	X <sub>0</sub>
CCN10	IR	$\hat{Y} = 18,3502x^{-0,5056}$	0,9996	1,0076	4,08	9,01
CCN51		$\hat{Y} = 18,2858x^{-0,0,4999}$	0,9994	1,0034	4,06	9,08

Continua...

Tabela 2. Continuação...

CP2176	$\hat{Y} = 20,2130x^{0,5016}$	0,9998	1,0060	3,34	9,68
CP2204	$\hat{Y} = 21,0950x^{-0,5015}$	0,9998	1,0072	4,47	9,96
PH16	$\hat{Y} = 16,4686x^{-0,4940}$	0,9998	0,9903	3,77	8,55
PS1319	$\hat{Y} = 20,5762x^{-0,5096}$	1,0000	1,0150	4,41	9,66

CC = comprimento do caule (cm); NR = número de raízes; CR = comprimento de raiz (cm); DC = diâmetro de caule (mm); NF = número de folhas; AF = área foliar (cm<sup>2</sup>); VR = volume de raiz (mL); IRC = Índice Relativo de Clorofila; MSF = massa seca foliar (g); MSC = massa seca do caule (g); MSR = massa seca da raiz (g); MSPA = massa seca da parte aérea (g); MST = massa seca total (g), IQD = Índice de Qualidade de Mudas de Dickson; AFE = Área Foliar Específica; IR = Índice de Rodustez.

No que diz respeito aos valores obtidos de  $X_0$  é possível inferir que características referentes a contagem (NR e NF), características de pesagem (MSF, MSC, MSR, MSPA e MST) e AF apresentaram valores maiores, variando, aproximadamente, entre cinco e nove, já as características de medição (CC, CR e DC) apresentaram valores de  $X_0$  menores, que variam entre três e seis aproximadamente. Já em relação aos índices calculados, IQD e AFE apresentaram valores maiores, variando entre cinco e nove aproximadamente, enquanto o IR apresentou valores próximos a quatro.

Desse modo, admitindo-se todas as dezesseis variáveis utilizadas neste trabalho, bem como os seis clones de cacau avaliados, é possível determinar que o tamanho ótimo de parcela encontrado é de nove plantas. Entretanto, o valor de  $X_0$  poderá mudar dependendo das variáveis que se planeja obter na experimentação, bem como o clone objeto de estudo. Por exemplo, para avaliar apenas as características CC, DC e CR em um experimento com a variedade CP2204, deve-se adotar cinco plantas, visto que os valores de  $X_0$  obtidos para CC, DC e CR são respectivamente 3,91, 3,92 e 5,39. Já se o objetivo é avaliar o IR quatro plantas seriam suficientes.

Na Tabela 3 encontram-se a comparação entre médias feita pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade para cada uma das seis variedades e as dezesseis variáveis avaliadas. A partir desse teste é possível verificar a aplicabilidade do tamanho ótimo de parcela encontrado.

Com esses resultados observa-se que para as características CR e MST os valores foram estatisticamente semelhantes. E foi possível obter maior diferenciação entre os clones para a maioria das variáveis, principalmente para DC, NF, VR, IQD e IR, sendo este último o que possibilitou a maior diferenciação entre os clones.

Tabela 3 – Teste de Tukey, a 5% de probabilidade, para a comparação de médias de mudas em seis variedades clonais de cacaueteiro avaliadas em dezesseis variáveis num experimento inteiramente casualizado com quatro repetições de nove mudas por parcela

Esta- tística	Variedade clonal						DMS
	CCN10	CCN51	CP2176	CP2204	PH16	PS1319	
CC	53,70a	47,84b	55,26a	55,70a	55,16a	49,87ab	6,33
NR	2,42ab	3,05a	2,13ab	2,56ab	1,95b	1,94b	1,03
CR	33,33a	31,56a	34,49a	31,05a	30,61a	31,59a	6,24
DC	10,29a	9,55b	10,72a	9,05b	9,56a	5,88c	1,17
NF	13,89b	13,23bc	12,77bc	13,86b	17,35a	9,98c	3,33
AF	1345,09a	1040,89ab	1048,85ab	1051,14ab	1152,00ab	831,60b	340,37
VR	8,82c	12,26bc	14,88b	23,65a	16,51b	8,39c	5,01
IRC	37,69ab	38,23ab	33,55b	34,74b	42,15a	41,71a	4,73
MSF	5,85a	4,63ab	4,64ab	4,85ab	6,18a	4,09b	1,61
MSC	17,27a	16,22a	20,72a	11,12b	16,10a	17,05a	4,97
MSR	2,50b	3,25b	3,18b	6,05a	3,61b	2,46b	1,30
MSPA	23,12a	20,85ab	25,40a	15,98b	22,28a	21,14ab	5,84
MST	25,62a	24,10a	28,58a	22,03a	25,90a	23,60a	6,56
IQD	1,72bc	2,05ab	1,75bc	2,52a	2,09ab	1,34c	0,64
AFE	246,72ab	242,41ab	276,48a	226,13ab	198,41b	215,23ab	73,33
IR	5,29c	5,10c	5,28c	6,29b	5,79bc	8,84a	0,88

CC = comprimento do caule (cm); NR = número de raízes; CR = comprimento de raiz (cm); DC = diâmetro de caule (mm); NF = número de folhas; AF = área foliar (cm<sup>2</sup>); VR = volume de raiz (mL); IRC = Índice Relativo de Clorofila; MSF = massa seca foliar (g); MSC = massa seca do caule (g); MSR = massa seca da raiz (g); MSPA = massa seca da parte aérea (g); MST = massa seca total (g), IQD = Índice de Qualidade de Mudanças de Dickson; AFE = Área Foliar Específica; IR = Índice de Rodustez.

Na Tabela 4 observa-se os valores referentes a diferença mínima significativa a partir do teste de Tukey, a 5% de significância, admitindo-se quatro repetições, valor necessário para se obter o número mínimo de parcelas segundo Pimentel Gomes (2009) e tamanhos de parcelas inferiores ao tamanho ótimo encontrado: oito, sete, seis, cinco, quatro, três, dois, e um, em comparação. A partir desta tabela é possível inferir que para a maioria das variáveis, quando usados tamanhos de parcela com duas ou uma planta não há diferença mínima significativa entre variáveis o que é esperado, visto que os valores mínimos de  $X_0$  obtidos foram a partir de três.

Tabela 4 – Valor da diferença mínima significativa, pelo teste de Tukey, para dezesseis variáveis na comparação de médias em mudas de seis variedades clonais de cacaueteiro num experimento inteiramente casualizado com quatro repetições e diferentes tamanhos de parcela (TP, n° de mudas parcela<sup>-1</sup>)

TP	Características							
	CC	NR	CR	DC	NF	AF	VR	IRC
9	6,33*	1,03*	6,24	1,17*	3,33*	340,37*	5,01*	4,73*
8	6,71*	1,09*	6,62	1,24*	3,53*	361,02*	5,32*	5,01*
7	7,18*	1,16	7,07	1,33*	3,78*	385,94*	5,68*	5,36*

Continua...

Tabela 4. Continuação...

6	7,75*	1,26	7,64	1,44*	4,08*	416,86*	6,14*	5,79*
5	8,49	1,38	8,34	1,57*	4,47*	456,65*	6,73*	6,34*
4	9,50	1,54	9,36	1,76*	5,00*	510,55*	7,52*	7,09*
3	10,96	1,78	10,80	2,03*	5,77*	589,54	8,68*	8,18
2	13,43	2,18	13,23	2,48*	7,07*	722,03	10,64*	10,02
1	18,99	3,08	18,71	3,51*	9,99	1021,10	15,04*	14,17
TP	Característica							
	MSF	MSC	MSR	MSPA	MST	IQD	AFE	IR
9	1,61*	4,97*	1,30*	5,84*	6,56	0,64*	73,33*	0,88*
8	1,70*	5,27*	1,38*	6,20*	6,96	0,68*	77,78*	0,93*
7	1,82*	5,63*	1,48*	6,63*	7,44	0,73*	83,15	0,99*
6	1,97*	6,08*	1,60*	7,16*	8,03	0,79*	89,81	1,07*
5	2,15	6,66*	1,75*	7,84*	8,80	0,86*	98,39	1,18*
4	2,41	7,45*	1,96*	8,76*	9,84	0,96*	110,00	1,31*
3	2,78	8,60*	2,26*	10,12	11,36	1,11*	127,02	1,52*
2	3,41	10,53	2,77*	12,39	13,91	1,36	155,56	1,86*
1	4,82	14,90	3,91	17,53	19,68	1,92	219,99	2,63*

\*Diferença mínima significativa que permite diferenciar as seis variedades clonais de cacau pela média, usando o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tendo como base os resultados obtidos por este trabalho, recomenda-se a utilização do método de Meier e Lessman (1971) com simulação bootstrap segundo Celanti et al. (2016), principalmente por ser menos custoso em comparação a metodologia original, por não exigir a identificação da posição das plantas na área experimental.

#### 1.2.4. Conclusão

O tamanho ótimo de parcela para a experimentação com mudas clonais de cacau (CCN10, CCN51, CP2204, CP2176, PH16 e PS1319) é de nove plantas por parcela experimental.

#### 1.2.5. Referências

ALVES, S.R.M.; LOPES, R.; MENESES, C.; VALENTE, M.S.F.; MARTINS, C.C.; RAMOS, S.F.; OLIVEIRA, I.; DE JESUS PINTO FRAXE, T.; COSTA, L.; LOPES, M.T.G. Morpho-Agronomic Characterization, Sample Size, and Plot Size for the Evaluation of *Capsicum chinense* Genotypes. *Horticulturae*, 8, 785, 2022.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711-728, 2014.

BRASIL, Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Clones Autocompatíveis Recomendados pela CEPLAC. Teolândia, BA, CEPLAC/SEREX, 2018.

CARGNELUTTI FILHO, A.; LOREGIAN, M. V.; BUBANS, V. E.; SOMAVILLA, F.; COSTA, S. L. D. Comparison of methods for estimating the optimum plot size for pearl millet, slender leaf rattlebox, and showy rattlebox. **Revista Caatinga**, v. 34, n. 6, p. 249-256, 2021.

CARNEIRO, J. G. A. Produção e controle de qualidade de mudas florestais. Curitiba: UFPR/FUPEF, 1995. 451 p.

CARRAFA, P.M.; MORAIS, L.G.; SCHMILDT, O; SCHMILDT, E.R. Optimal plot size with conilon LB1 coffee tree clonal seedlings produced in tubes. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 54, e77706, 2024.

CELANTI, H.F., SCHMILDT, E.R., SCHMILDT, O., ALEXANDRE RS, CATTANEO LF. Optimal plot size in the evaluation of papaya scions: proposal and comparison of methods. **Revista Ceres**. V.63. n.4, p.469-76, 2016.

CHERNICK, M.R.; LABUDDE, R.A. **An introduction to bootstrap methods with applications to R**. Hobekan, NJ: John Wiley & Sons, p.216, 2011.

DICKSON, A.; LEAF, A.L.; HOSNER, J.F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forest Chronicle**, v.36, n.1, p.10-13, 1960.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATIONS OF THE UNITED NATIONS – **FAO DATABASE**. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em 20 de maio de 2025.

FREITAS, J.; JARDIM, I.; GUEDES, M. Desenvolvimento de mudas de cacau em função da concentração de biostimulante d'raz®. **Diversitas Journal**, v. 9, n. 2, 2024.

GUARÇONI, R. C.; ALIXANDRE, F. T.; SOUSA, D. G.; PEREIRA, L.; BRIOSCHI JUNIOR, D.; SOUSA, L. H. B. P. de; FAVARATO, L. F.; MARCATE, J. P. P. Plot size for evaluation of agronomic and sensorial characteristics of Arabica coffee. **Brazilian Journal of Biometrics**, v. 38, n. 1, p. 57-68, 2020.

IPEA – IBGE (IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA; IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Relatório econômico**. Brasília: Ipea; IBGE, 2025.

LOHMOR, N.; KHAN, M.; KAPOOR, K.; BISHNOI, S. Estimation of optimum plot size and shape from a uniformity trial for field experiment with sunflower (*Helianthus Annuus*) crop in soil of hisar. **Int. J. Plant Soil Science**., v. 15, p.1–5, 2017.

LOPES, B.G.; SAVIAN, V. S.; FARIA, G. A. Optimal plot size estimation in field experiment with purple passion fruit. **Revista Brasileira Fruticultura**, v.45, e-753, Jaboticabal - SP – Brazil, 2023.

MAGALHÃES, J. R.; AZEVEDO, A. M.; VALADARES, N. R.; FERNANDES, A. C. G.; ALVES, R. A.; FREITAS, I. C. D.; COSTA, C. A. D. Optimum plot size and number of replications for experiments with the chickpea. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 54, e20228506, 2023.

MEIER, V.D.; LESSMAN, K.J. Estimation of optimum field plot shape and size for testing yield in *Crambe abyssinica* Hochst. **Crop Science**. v. 11, n. 5, p. 648-50, 1971.

N'DAFÁ, G.; PINTO, C.; PINTO, O.; SILVA, L. G. Crescimento inicial de mudas de cacau fertilizado com doses de esterco bovino. **ENCICLOPEDIA BIOSFERA**, v.19, n. 42, 2022. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/5560>. Acesso em: 21 maio. 2024.

PIMENTEL, J. V. M. Desenvolvimento de clones de cacau utilizados para porta-enxertos. 2022.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15 ed. Piracicaba: FEALQ, 451 p., 2009.

POORTER, H.; NIKLAS, K.J.; REICH, P. B.; OLEKSYN, J.; POOT, P.; MOMMER, L. Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control. **New Phytologist**, v. 193, n. 1, p. 30-50, 2011.

R Core Team (2024). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, R version 4.4.1 (2024-06-14), Vienna, Austria. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>

LORENTZ, L.H.; ERICHSEN, R.; LÚCIO, A.D. Proposta de método para definir tamanho de parcela para culturas agrícolas. **Revista Ceres**. v. 59, n. 6, p.772-80, 2012.

RIBEIRO, G. C.; CARRAFA, M. P.; BONELÁ, E. S.; SCHMILDT, O.; CZEPAK, M. P.; SCHMILDT, E. R. Optimal plot size in the experiment with low-cold demanding apple trees. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 71, e71048, 2024.

SOUZA JUNIOR, J. O. **Cacau: cultivo, pesquisa e inovação**. Ilhéus – BA, Editus, 2018.

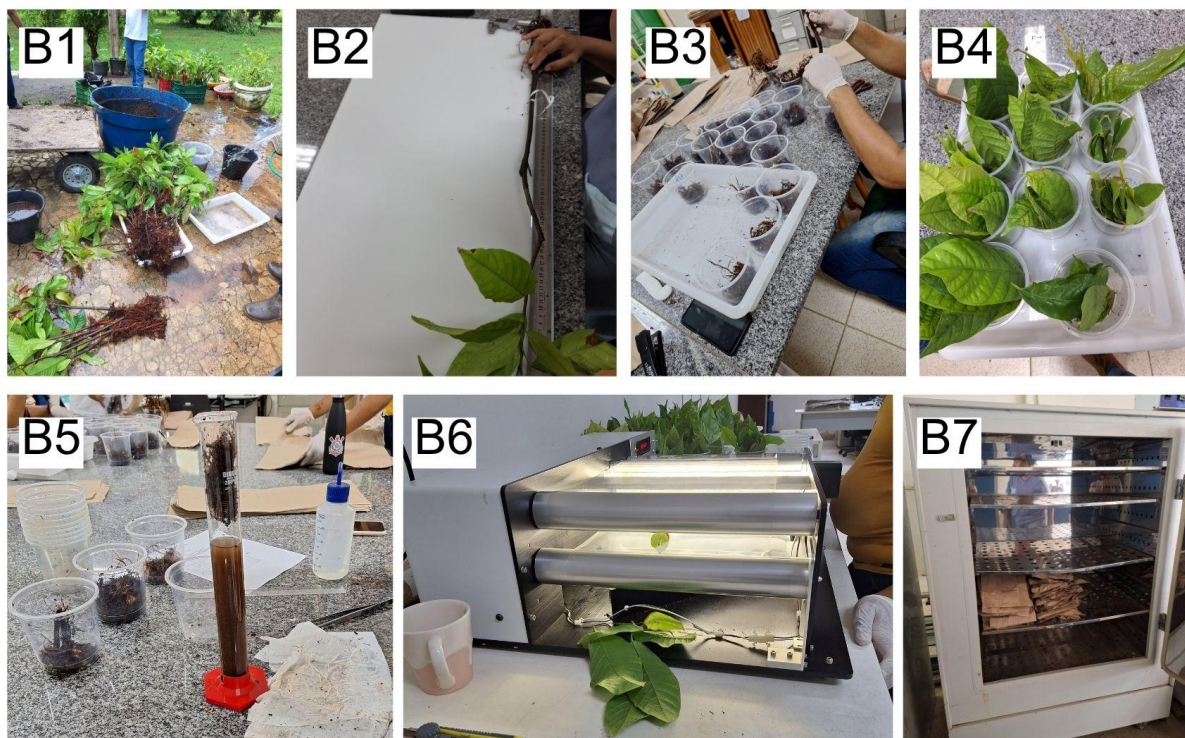
SOUZA JÚNIOR, J. O.; CARMELLO, Q. A. C.; SODRÉ, G. A. Substrato e adubação fosfatada para a produção de mudas clonais de cacau. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 151-159, 2011.

SMITH, H.F. Uma lei empírica que descreve a heterogeneidade nos rendimentos de culturas agrícolas. **Journal of Agricultural Science**, v. 28, n. 1, p.1-23, 1938.

## 2. APÊNDICES



**Apêndice A.** Imagens registradas em dezembro de 2023 durante a organização das mudas no viveiro. A1 e A2: Seleção de clones para realização das avaliações; A3, A4, A5, A6 e A7: Identificação dos clones.



**Apêndice B.** Avaliação das mudas realizada em laboratório em janeiro de 2024. B1: Lavagem das mudas para retirada cuidadosa do substrato; B2: Medição do comprimento do caule; B3: Separação das raízes; B4: Separação das folhas; B5: Determinação do volume de raiz; B6: Determinação da área foliar; B7: Órgãos fragmentados passando pela secagem em estufa de circulação forçada a 70°C.