



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**DESEMPENHO DE CLONES DE *EUCALYPTUS* SPP. EM DIFERENTES  
ESPAÇAMENTOS AOS 72 MESES EM BRASÍLIA-DF**

Pedro Paulo Cessel Honorato

Brasília, 13 de Fevereiro de 2025.

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

FACULDADE DE TECNOLOGIA



Departamento de Engenharia Florestal - EFL

Universidade De Brasília - UnB

Faculdade De Tecnologia - FT

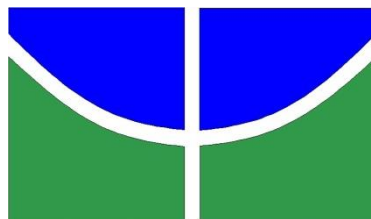
**DESEMPENHO DE CLONES DE *EUCALYPTUS* SPP. EM DIFERENTES  
ESPAÇAMENTOS AOS 72 MESES EM BRASÍLIA-DF**

Pedro Paulo Cessel Honorato

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação  
apresentado ao Departamento de Engenharia  
Florestal da Universidade de Brasília como parte  
das exigências para obtenção do título de Bacharel  
em Engenharia Florestal.

Orientador(a): Eder Pereira Miguel

Brasília, 13 de Fevereiro de 2025.



**Universidade de Brasília - UnB**  
**Faculdade de Tecnologia – FT**  
**Departamento de Engenharia Florestal – EFL**

**DESEMPENHO DE CLONES DE *EUCALYPTUS* SPP. EM DIFERENTES  
ESPAÇAMENTOS AOS 72 MESES EM BRASÍLIA-DF**

Estudante: Pedro Paulo Cessel Honorato

Matrícula: 15/0144733

Orientador(a): Eder Pereira Miguel

Menção: \_\_\_\_\_

---

Prof. Dr. Eder Pereira Miguel  
Universidade de Brasília – UnB  
Departamento de Engenharia Florestal  
Orientador (EFL)

---

Prof. Dr. Mauro Elói Nappo  
Universidade de Brasília – UnB  
Membro da Banca

---

Prof. Dr. José Henrique Camargo Pace  
Universidade de Brasília – UnB  
Membro da Banca

Brasília-DF, 13 de Fevereiro de 2025

Esta folha destina-se à inserção da **FICHA CATALOGRÁFICA** que o autor receberá após as correções do trabalho pela biblioteca. Para a construção da ficha o(a) autor(a) deverá entrar no site da biblioteca pelo link <https://bce.unb.br/elaboracao-de-fichas-catalograficas/>

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que compartilharam a minha longa jornada acadêmica, a todos os professores da Engenharia Florestal, em especial ao meu orientador Eder, que me auxiliou e me guiou nessa pesquisa científica, e aos meus colegas de turma em especial ao Rafinha, João Pedro, Yago, Walmir e Dedé pelas boas histórias que passamos juntos na Universidade de Brasília e que venha outros momentos bons daqui para frente.

Gostaria de dar um agradecimento especial a minha mãe Luciana que mesmo quando parecia que a faculdade não iria acabar ela me levantava e dava forças para terminar, com o seu jeito mais delicado de mãe. e aos meus irmãos Ruder e Renato que apesar de estarem longe de mim e da minha jornada sempre me motivaram a continuar e me incentivaram em diversos momentos.

A minha avó que não está mais entre nós, mas eu sei que ela estaria muito feliz vendo o que eu consegui conquistar. E agradeço aos meus tios Joacy, Josney e Janilson pelo exemplo de vida que me deram e mostraram que a família sempre deve estar no primeiro plano.

Um agradecimento aos meus primos que por mais que eles não saibam, eu vivia criando competições na minha cabeça contra eles e que foi uma forma que me ajudou a crescer e a entender como o mundo funciona.

Agradeço também a toda equipe do departamento de engenharia florestal da UnB.

E por fim gostaria de agradecer aos meus sogros que me incentivaram nessa reta final da faculdade sempre com preocupação e zelo para terminar essa trajetória e a minha namorada Sara que teve um papel muito importante na minha jornada acadêmica.

### Epígrafe

"A floresta não é simples consequência do clima, mas o atual equilíbrio do clima é modelado pela floresta."  
- Prof. Enéas Salati.

## RESUMO

Este estudo avaliou o incremento em diâmetro e volume de clones híbridos interespecíficos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (GG100 e AEC 1528) em diferentes densidades de plantio (3x2 m e 3x3 m), visando determinar as condições ótimas de produtividade. O experimento foi conduzido na Fazenda Água Limpa, Universidade de Brasília, Distrito Federal, utilizando um delineamento inteiramente casualizado (DIC) em arranjo fatorial, com dois fatores (clone e espaçamento) e quatro repetições por tratamento. Foram mensurados o diâmetro à altura do peito (DAP) e o volume individual aos 72 meses pós-plantio. A análise estatística incluiu testes de Bartlett e Shapiro-Wilk para verificação dos pressupostos da ANOVA, seguida pelo teste de Tukey para comparação múltipla de médias. Os resultados indicaram diferenças significativas ( $\alpha = 0,05$ ) para as variáveis DAP e volume. Concluiu-se que tanto o material genético quanto o espaçamento influenciam significativamente a produtividade do povoamento, sendo o clone GG100 no espaçamento 3x2m o mais produtivo, e o mesmo clone no espaçamento 3x3m o de maior diâmetro. Este estudo contribui para o aprimoramento das práticas silviculturais (espaçamento) e seleção de genótipos em plantios comerciais de eucalipto no Distrito Federal.

**Palavras-chave:** Cerrado, Silvicultura clonal, Densidade de plantio e Crescimento.

## ABSTRACT

This study evaluated the volumetric increment of interspecific hybrid clones of *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (GG100 and AEC 1528) at different planting densities (3x2 m and 3x3 m), aiming to determine optimal productivity conditions in clonal silviculture. The experiment was conducted at Fazenda Água Limpa, University of Brasília, Federal District, using a completely randomized design (CRD) in a factorial arrangement with two factors (clone and spacing) and four replications per treatment. Diameter at breast height (DBH) and individual volume were measured at 72 months post-planting. Statistical analysis included Bartlett and Shapiro-Wilk tests to verify ANOVA assumptions, followed by Tukey's test for multiple mean comparisons. Results indicated significant differences ( $\alpha = 0.05$ ) for the DBH and volume variables. It was concluded that both genetic material and spacing significantly influence stand productivity, with the GG100 clone at 3x2 m spacing being the most recommended arrangement due to its superior performance. This study contributes to the improvement of forestry practices (spacing) and genotype selection in commercial eucalyptus plantations in the Federal District..

**Keywords:** Cerrado, Clonal Forestry, Planting Density and Growth.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Mapa de localização do experimento na FAL/UnB .....	16
<b>Figura 2</b> – Croqui de instalação do experimento .....	18
<b>Figura 3</b> – Crescimento diamétrico dos clones GG100 e AEC 1528 no espaçamento 3x2m ao longo dos 6 anos. ....	23
<b>Figura 4</b> – Crescimento diamétrico dos clones GG100 e AEC 1528 no espaçamento 3x3m ao longo dos 6 anos. ....	23
<b>Figura 5</b> – Curvas de crescimento diamétrico para diferentes clones.....	26
<b>Figura 6</b> – Crescimento volumétrico dos clones GG100 e AEC 1528 no espaçamento 3x2m ao longo dos 6 anos. ....	28
<b>Figura 7</b> – Crescimento volumétrico dos clones GG100 e AEC 1528 no espaçamento 3x3m ao longo dos 6 anos. ....	28
<b>Figura 8</b> – Curvas de produção volumétrica para os diferentes clones. ....	31
<b>Figura 9</b> – Curvas de ICA x IMA em seus diferentes tratamentos para a variável volume. ...	32

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Tabela de análise de variância em esquema fatorial para um delineamento inteiramente casualizado- ANOVA. ....	20
<b>Tabela 2</b> - Sobrevivência do plantio aos 72 meses de idade de 2 híbridos clonais no Distrito Federal. ....	21
<b>Tabela 3</b> – valores médios do diâmetro por parcela, máximo, média, mínimo, desvio padrão, variância, coeficiente de variação. ....	22
<b>Tabela 4</b> – Dados diamétricos nos diferentes clones de cada sub parcelas. ....	22
<b>Tabela 5</b> – Quadro auxiliar dos valores totais do diâmetro por clone e espaçamento. ....	24
<b>Tabela 6</b> – Quadro da análise de variância (ANOVA) do diâmetro para os dois clones nos dois espaçamentos, aos 72 meses de idade. ....	24
<b>Tabela 7</b> – Pares de médias dos diâmetros seguidos por uma mesma letra, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, aos 72 meses. ....	25
<b>Tabela 8</b> - Produção volumétrica por parcela, máximo, média, mínimo, desvio padrão, coeficiente de variação e variância. ....	26
<b>Tabela 9</b> – produção volumétrica (m <sup>3</sup> /há) nos diferentes clones de cada sub parcelas .....	27
<b>Tabela 10</b> – Quadro auxiliar dos valores totais da produção volumétrica (m <sup>3</sup> /há) por clone e espaçamento. ....	29
<b>Tabela 11</b> – Quadro da análise de variância (ANOVA) do volume para os dois clones nos dois espaçamentos, aos 72 meses de idade. ....	29
<b>Tabela 12</b> – Pares de médias de volume seguidos por uma mesma letra, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, aos 72 meses. ....	30
<b>Tabela 13</b> - Tabela de idades e volumes e seus respectivos ICA e IMA dos clones GG 100 e AEC 1528 .....	32

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>15</b>
2.1. Área de estudo .....	15
2.2. Material Genético .....	17
2.3. Delineamento Experimental.....	17
2.4. Coleta de dados.....	19
2.4.1. Mensuração dos dados dendrométricos .....	19
2.4.2 Determinação do volume .....	19
2.5 Análise Estatística .....	19
<b>3. RESULTADOS .....</b>	<b>21</b>
<b>4. DISCUSSÕES .....</b>	<b>33</b>
4.1. Análise da variável dendrométrica diâmetro .....	33
4.2. Análise da variável dendrométrica volume .....	34
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>35</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>36</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Em 2023, o setor de florestas plantadas gerou uma receita de R\$ 202 bilhões, consolidando-se como uma das cadeias produtivas mais relevantes do agronegócio brasileiro e contribuindo significativamente para o Produto Interno Bruto (PIB) nacional (IBÁ, 2024). Esse desempenho reforça o papel estratégico do setor florestal na economia do Brasil, além de destacar sua importância na promoção da sustentabilidade ambiental.

O Brasil atingiu, no mesmo ano, um marco expressivo com mais de 10,2 milhões de hectares destinados ao cultivo de árvores plantadas, representando um crescimento de 3% em relação ao ano anterior (IBÁ, 2024). O eucalipto continua sendo a espécie predominante, ocupando cerca de 7,8 milhões de hectares e correspondendo a aproximadamente 76% da área total dedicada a florestas plantadas no país (IBÁ, 2024).

As plantações florestais brasileiras desempenham um papel crucial tanto na economia quanto na sustentabilidade ambiental. O cultivo de espécies como o eucalipto é estratégico devido à sua elevada taxa de crescimento e ampla utilização industrial, especialmente na produção de celulose, papel e biomassa (IBÁ, 2024). As plantações de eucalipto em regiões tropicais e subtropicais estão entre as mais produtivas do mundo (Binkley et al., 2017). Além disso, a adaptação das espécies às condições locais de solo e clima é essencial para otimizar o crescimento e a qualidade da madeira. Práticas de manejo sustentável são igualmente importantes para minimizar impactos ambientais, como a erosão do solo e a perda de biodiversidade (Santos, 2022).

A escolha das espécies adequadas é um fator decisivo para o sucesso das plantações. Aspectos como o objetivo da produção, a adaptação às condições edafoclimáticas, a resistência a pragas e doenças, bem como as características da madeira, devem ser considerados. No Brasil, destacam-se espécies como *Eucalyptus grandis*, *E. saligna*, *E. urophylla* e híbridos como *E. grandis* x *E. urophylla*, amplamente utilizadas devido à sua alta produtividade e versatilidade industrial.

A produtividade média do eucalipto no Brasil em 2022 foi estimada em 32,7 m<sup>3</sup>/ha/ano, com idade média de corte de 7,8 anos. Em 2023, esse índice aumentou para 33,7 m<sup>3</sup>/ha/ano, enquanto a idade média de corte foi reduzida para 7,2 anos (IBÁ, 2024). Estudos têm demonstrado que fatores como o espaçamento entre as árvores e o material genético desempenham um papel crucial na produtividade. Esses fatores influenciam diretamente variáveis como crescimento em altura, diâmetro, taxa de sobrevivência e a idade ideal para o

corte. (ELOY et al., 2010; PEREIRA, 2015; DE ASSIS LEAL et al., 2016; AQUINO, 2017; LOPES et al., 2017; PROFÍRIO, 2018; CÔRREA et al., 2020).

As florestas plantadas de eucalipto no Brasil enfrentam desafios significativos relacionados à variabilidade climática e à necessidade de adaptar as espécies às diferentes condições ambientais. No entanto, avanços como a clonagem e a hibridação de espécies têm se mostrado altamente eficazes para aumentar a produtividade, melhorar a resistência a doenças e otimizar a adaptação a variados cenários ambientais.

A clonagem, especialmente por meio de técnicas como a miniestaquia, permite a reprodução em larga escala de clones selecionados com características superiores. Essa abordagem é amplamente empregada para multiplicar híbridos de eucalipto, assegurando uniformidade genética e a manutenção de atributos desejados, como resistência a pragas e tolerância a condições climáticas adversas (Kuppusamy et al., 2019).

Por sua vez, a hibridação consiste no cruzamento entre diferentes espécies de eucalipto, com o objetivo de combinar características vantajosas de ambas. Essa estratégia é essencial para o desenvolvimento de materiais genéticos mais adaptados às necessidades do setor, contribuindo para a sustentabilidade e eficiência dos plantios de eucalipto no Brasil. (BOA MORTE, 2020; SANTOS, 2005)

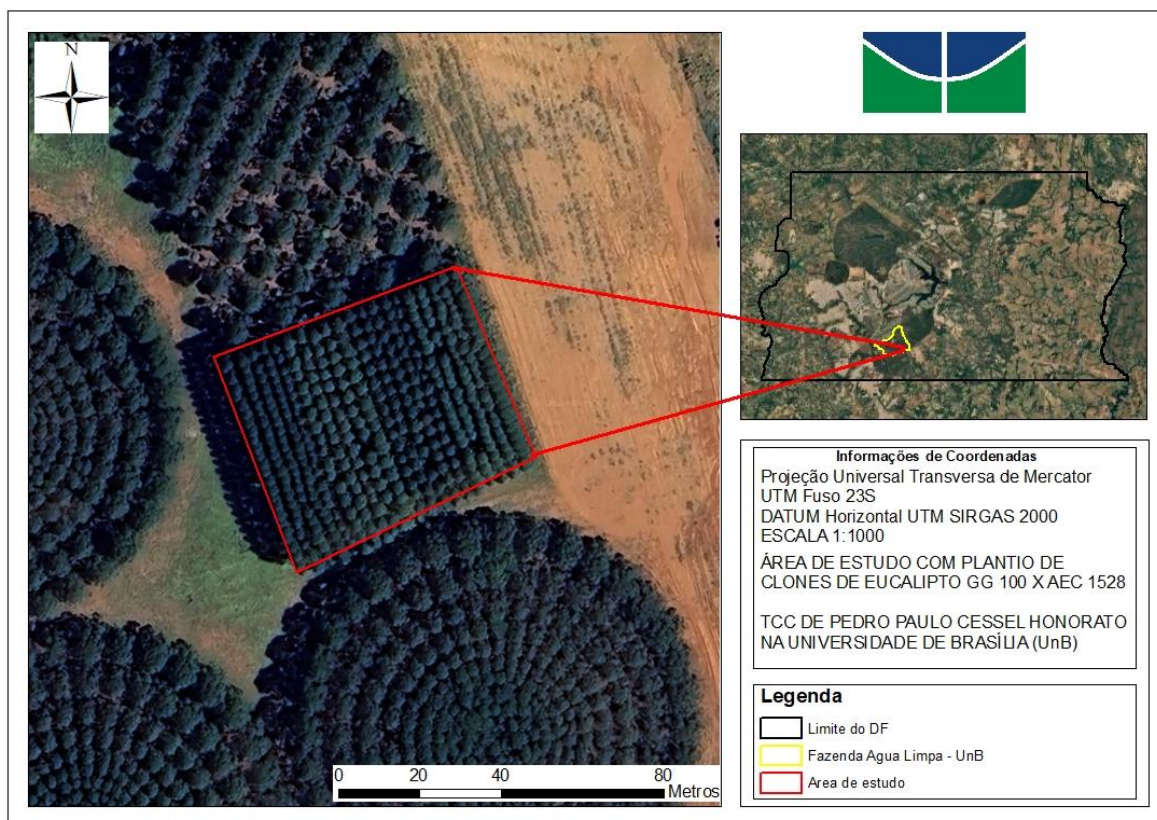
O objetivo do presente trabalho é de analisar dois materiais genéticos distintos de clones de *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis* (GG 100 e AEC 1528) sob espaçamentos diferentes (3x2 e 3x3), aos 72 meses de idade, e assim verificar a produção volumétrica e a variável diâmetro entre os diferentes tratamentos.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1. Área de estudo**

O presente estudo foi conduzido na Reserva Ecológica e Experimental Fazenda Água Limpa (FAL), uma propriedade da Universidade de Brasília (UnB) localizada no Distrito Federal. A FAL abrange uma área total de aproximadamente 4.340 hectares, dos quais cerca de 3.140 hectares são destinados à preservação e 1.200 hectares à produção e pesquisa científica.

A área específica do experimento ocupa cerca de 3.400 m<sup>2</sup> e é composta por dois híbridos do gênero *Eucalyptus* como é observado na Figura 1. Além disso, a FAL conta com aproximadamente 300 hectares dedicados ao cultivo de *Eucalyptus spp.*, evidenciando a relevância desse gênero para as atividades de pesquisa e produção da FAL.



**Figura 1** - Mapa de localização do experimento na FAL/UnB

**Fonte:** Elaboração do próprio autor.

A vegetação predominante na Fazenda Água Limpa é Cerrado sentido restrito. No entanto a área que está destinada ao experimento apresenta alterações devido a atividades antrópicas e produção de pesquisas, incluindo plantios de eucalipto. O solo na região é classificado como Latossolo Vermelho distrófico (GATTO et al., 2014). Este tipo de solo é caracterizado por ser de baixa fertilidade e ácido. Apesar das limitações químicas o solo possui boas condições físicas para fins agrícola, como uma boa permeabilidade por ser um solo profundo e poroso. Devido a essas características o solo resulta uma baixa capacidade de retenção de água e umidade (EMBRAPA, 2018).

O clima da região é categorizado, conforme a classificação climática de Köppen-Geiger, estabelecida em 1939, como Aw, designado como tropical com inverno seco (ALVARES, 2013; CARDOSO, 2014). Esta classificação é caracterizada por uma sazonalidade térmica e pluviométrica bem definida. A temperatura apresenta uma amplitude significativa, com máximas atingindo 28,5°C e mínimas chegando a 12°C. O regime pluviométrico é marcado por uma precipitação média anual de 1.400 mm, com uma estação seca pronunciada que se estende de junho a setembro.

## 2.2. Material Genético

O setor florestal tem buscado alternativas para reduzir o consumo de madeira nativa para gerar energia, uma alternativa foi a utilização do eucalipto, este tem se destacado pela sua versatilidade com a matéria prima em diversos setores reduzindo assim a pressão sobre as madeiras nativas (IBA, 2019). A otimização da produção é crucial para atender a demanda do mercado interno e externo, pesquisas no âmbito de melhoramento genético têm desempenhado um papel fundamental no aumento da produtividade madeireira e na solução de problemas relacionados à heterogeneidade das florestas plantadas (FONSECA et al., 2010; ROSADO et al., 2012). Nesse cenário, dois híbridos clonais de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* têm se destacado: o AEC 1528 e o GG 100.

O clone AEC 1528, desenvolvido pela ArcelorMittal Bioenergia LTDA, destaca-se pelo seu crescimento acelerado e notável resistência a condições de estresse hídrico. Com um incremento médio anual (IMA) de  $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  e densidade básica de  $531 \text{ kg m}^{-3}$ , este clone demonstra alta tolerância a doenças como a ferrugem e pragas como o psilídeo de concha. Sua versatilidade permite seu uso em diversas aplicações, incluindo produção de lenha, carvão, cavaco, além de ser adequado para serraria e tratamento de madeira (BOA MORTE, 2020; PALUDZYSZYN FILHO e DOS SANTOS, 2013)

Por outro lado, o clone GG 100, um híbrido espontâneo desenvolvido pela Gerdau Florestal S.A., destaca-se por seu bom desenvolvimento e qualidade de madeira. Apresenta um incremento médio anual (IMA) de aproximadamente  $45 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , densidade básica de  $576 \text{ kg m}^{-3}$  e teor de lignina de 26,10%. Este clone é indicado para produção vegetal, energia, serraria e biomassa. Contudo, uma limitação significativa é sua elevada taxa de mortalidade em regiões com baixa precipitação, especialmente após o segundo ano de plantio. (BOA MORTE, 2020; MATIAS, 2015)

A escolha entre esses clones deve ser baseada nas características específicas do local de plantio e nos objetivos da produção. O AEC 1528 pode ser mais adequado para áreas com déficit hídrico moderado, enquanto o GG 100 pode ter melhor desempenho em regiões com maior disponibilidade de água. Ambos os clones representam avanços significativos no melhoramento genético do eucalipto, contribuindo para a expansão e eficiência do setor florestal no Brasil.

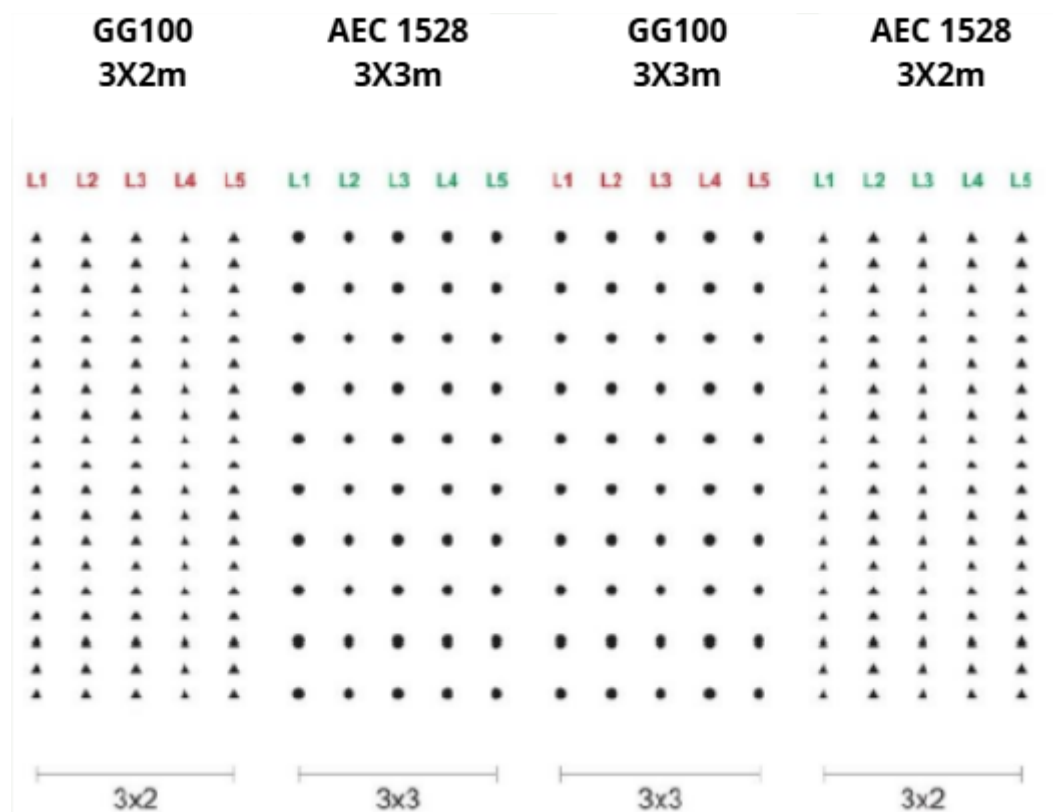
## 2.3. Delineamento Experimental

O experimento foi conduzido em um delineamento inteiramente casualizado (DIC), estruturado em um esquema fatorial  $2 \times 2$ , considerando dois clones e dois espaçamentos, a

figura 2 representa um croqui do experimento. Foram realizadas quatro repetições para cada um dos quatro arranjos de plantio testados. A área experimental foi subdividida em quatro subparcelas, totalizando 16 unidades experimentais.

As árvores localizadas nas bordas do plantio geralmente apresentam maiores diâmetros e alturas em comparação com as árvores do interior do povoamento. Isso ocorre devido à menor competição por recursos que as árvores de borda enfrentam, tendo acesso privilegiado a nutrientes, água e, principalmente, luz solar. A maior exposição à radiação solar permite uma atividade fotossintética mais intensa, resultando em um crescimento acelerado tanto em diâmetro quanto em altura. (MIRANDA, 2016; DE LIMA, 2017). Devido a isso foi excluído as linhas de plantio mais externas da plantação, a fim de eliminar este efeito.

O experimento é composto por 371 árvores em sua totalidade, com a eliminação das árvores que sofrem efeito de borda o numero foi reduzido para 280 indivíduos. No decorrer dos anos foi avaliado o crescimento e a taxa de sobrevivência para cada tratamento.



**Figura 2** – Croqui de instalação do experimento

**Fonte:** FREITAS DA BOA MORTE, CAROLINE (2020)



## 2.4. Coleta de dados

### 2.4.1. Mensuração dos dados dendrométricos

Em dezembro de 2024 foi avaliado o crescimento dos indivíduos clonais, os dados foram coletados medindo o CAP a altura referente a altura do peito, 1,30m de altura. Após a coleta os dados de CAP foram convertidos em DAP utilizando a formula:

$$DAP = \frac{CAP}{\pi} \quad (1)$$

Sendo: DAP = Diâmetro à altura do peito (cm); CAP = circunferência à altura do peito (cm);  $\pi$  = constante pi igual à 3,14159.

### 2.4.2 Determinação do volume

A determinação do volume individual (m<sup>3</sup>) de madeira produzida em cada tratamento foi obtido através da formula

$$V = \pi * \frac{DAP^2}{40000} * Ht * FF \quad (2)$$

Sendo: V = Volume individual (m<sup>3</sup>);  $\pi$  = constante pi igual à 3,14159; DAP= Diâmetro à altura do peito (cm); Ht = altura total da árvore (m); FF = Fator de forma (No presente trabalho foi admitido como 0,45)

Com o volume de cada árvore foi possível obter o volume total de cada parcela e o volume médio por hectare.

Foi estabelecido que, ao utilizar o espaçamento de 3x3 metros entre as árvores, obtém-se uma densidade de plantio de 1.111 árvores por hectare. Enquanto no espaçamento 3x2m, obtém-se uma densidade de plantio de 1.667 árvores por hectare

## 2.5 Análise Estatística

Para a análise de variância foi necessário realizar a priori a análise de homogeneidade das variâncias entre os diferentes grupos, para isso foi utilizado o teste de Bartlett (1937), este teste basicamente determina se as variâncias de diferentes populações se diferenciam, isto é determinado por duas hipóteses, sendo elas:

H0 (hipótese nula) = todas as variâncias são iguais, ou seja, não há diferença significativa

H1(hipótese alternativa) = quando pelo menos uma variância se difere das demais

A análise de variância (ANOVA) foi realizada seguindo um experimento fatorial delineado inteiramente casualizado.

**Tabela 1** - Tabela de análise de variância em esquema fatorial para um delineamento inteiramente casualizado-ANOVA.

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fcal.	Ftab.
<b>Fator A</b>	I-1	SQa	QMa		
<b>Fator B</b>	J -1	SQb	QMb		
<b>Int. Ax B</b>	(J-1)(I-1)	SQaxb	QMaxb	Fint-cal	
<b>Tratamentos</b>	IJ - 1	SQtratamentos	QMtratamentos		
<b>Resíduos</b>	J.I (K-1)	SQresíduos	QMresíduos		
<b>Total</b>	JK - 1	Sqtotal			

GL= grau de liberdade; Fcal= teste F calculado; Ftab = teste F tabelado; I = número de níveis de A; J = número de níveis de B; K = numero de blocos; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio (variância); Fint-cal = teste F para interação na análise de variância.

**Fonte:** Elaboração do próprio autor.

A tabela ANOVA é um experimento fatorial 2x2, sendo o fator A os clones GG100 e AEC1528, e o fator B se os espaçamentos 3x2m e 3x3m. A ANOVA foi precedida do teste F ao nível de 5% de probabilidade com o objetivo de identificar se existia diferença estatística significativa entre os espaçamentos, entre os clones e entre a interação de clones e espaçamento. O teste de hipótese para o teste F foi avaliado pela análise das hipóteses determinadas por:

H0: Ausência do efeito de tratamentos. Não há diferença significativa entre as médias dos tratamentos.

H1: Presença do efeito de tratamentos. Existe diferença significativa entre os tratamentos.

Ao término da avaliação estatística, aplicou-se o teste de Tukey (1949) com nível de significância de 5%, visando confrontar os pares de médias. Para tal, a análise fundamentou-se na diferença mínima significativa (DMS). O teste de Tukey baseou-se nas seguintes hipóteses:

H0:  $\mu_i = \mu_i'$  - Os tratamentos são equivalentes.

H1:  $\mu_i \neq \mu_i'$  - Os tratamentos são distintos.

Por sua vez, as hipóteses do teste da DMS foram estabelecidas como:

H0:  $C < dms (\Delta)$  - Teste não significativo, indicando que as duas médias são estatisticamente iguais.

H1:  $C \geq dms (\Delta)$  - Teste significativo, apontando que as duas médias são estatisticamente diferentes.

A diferença mínima significativa (DMS) foi calculada utilizando a seguinte equação:

$$DMS = q * \sqrt{\frac{QMRes}{r}} \quad (3)$$

Em que: q = amplitude obtida na tabela de dupla entrada com o grau de liberdade do resíduo e o número de tratamentos a dado nível de significância (5%); QMRes = quadrado médio do resíduo; r = número de observações por tratamento (repetições).

Todos os procedimentos estatísticos foram executados utilizando o software Microsoft Excel, versão 2016.

### 3. RESULTADOS

A investigação das propriedades estatísticas das variáveis dendrométricas, volume e diâmetro, foi conduzida utilizando metodologias rigorosas. O teste de Bartlett, aplicado com um nível de confiança de 95%, corroborou a hipótese nula de homogeneidade das variâncias entre as variáveis analisadas. Subsequentemente, a normalidade dos dados foi avaliada através do teste de Shapiro-Wilk, cujos resultados não forneceram evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula, sugerindo que os dados seguem uma distribuição normal.

A confirmação da homogeneidade das variâncias e da normalidade na distribuição dos dados volumétricos e diamétricos estabelece um fundamento estatístico robusto para aplicação da ANOVA.

Em relação a volumetria, obteve-se que ao longo dos 72 meses de idade, os híbridos clonas GG 100 e AEC 1528 obtiveram sobrevivência média acima de 95%. Além disso, cabe ressaltar que o tratamento 3 (GG 100; 3x3 m) apresentou taxa de sobrevivência igual a 100%, como é visto na Tabela 2:

**Tabela 2** - Sobrevivência do plantio aos 72 meses de idade de 2 híbridos clonais no Distrito Federal.

Clone	Sobrevivência (%)	
	Espaçamento	
	3x2	3x3
GG 100	95%	100%
AEC 1528	98,75%	96,66%

**Fonte:** Elaboração do próprio autor.

Na Tabela 3, encontra-se a síntese das informações da variável diamétrica para os tratamentos 1, 2, 3 e 4. O tratamento 3 (clone GG 100 e espaçamento 3x3m) apresentou o maior valor de coeficiente de variação (CV%), desvio padrão e variância para o volume, seguido dos tratamentos 4, 2 e 1 respectivamente.

**Tabela 3** – valores médios do diâmetro por parcela, máximo, média, mínimo, desvio padrão, variância, coeficiente de variação.

DAP (cm)	GG 100 3x2	AEC 1528 3x3	GG 100 3x3	AEC 1528 3x2
Parcela 1	17,83	17,44	18,04	15,46
Parcela 2	16,68	17,26	18,67	15,74
Parcela 3	16,98	17,00	18,97	15,96
Parcela 4	17,27	17,44	19,50	16,19
Máximo	17,83	17,44	19,50	16,19
Média	17,19	17,28	18,80	15,84
Mínimo	16,68	17,00	18,04	15,46
Desvio Padrão	0,49	0,21	0,61	0,31
Variância	0,24	0,04	0,37	0,10
Coeficiente de Variação	2,84	1,21	3,25	1,95

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Considerando os resultados obtidos, os dados diamétricos foram organizados em quatro sub parcelas (I, II, III e IV) para cada tratamento, conforme demonstrado na Tabela 4, visando uma análise comparativa detalhada das variações diamétricas.

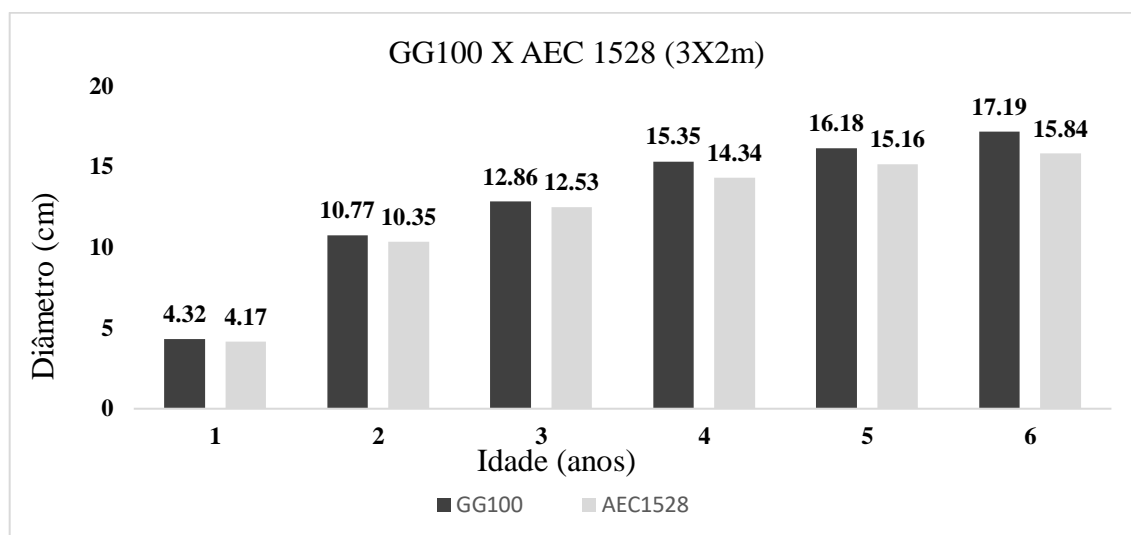
**Tabela 4** – Dados diamétricos nos diferentes clones de cada sub parcelas

DAP (cm)	Clone				Totais
	GG 100		AEC 1528		
	Espaçamento				
	3x2	3x3	3x2	3x3	
I	17,83	18,04	15,46	17,44	68,76
II	16,68	18,67	15,74	17,26	68,35
III	16,98	18,97	15,96	17,00	68,91
IV	17,27	19,50	16,19	17,44	70,40
Média	17,19	18,80	15,84	17,28	276,43

Fonte: Elaboração do próprio autor.

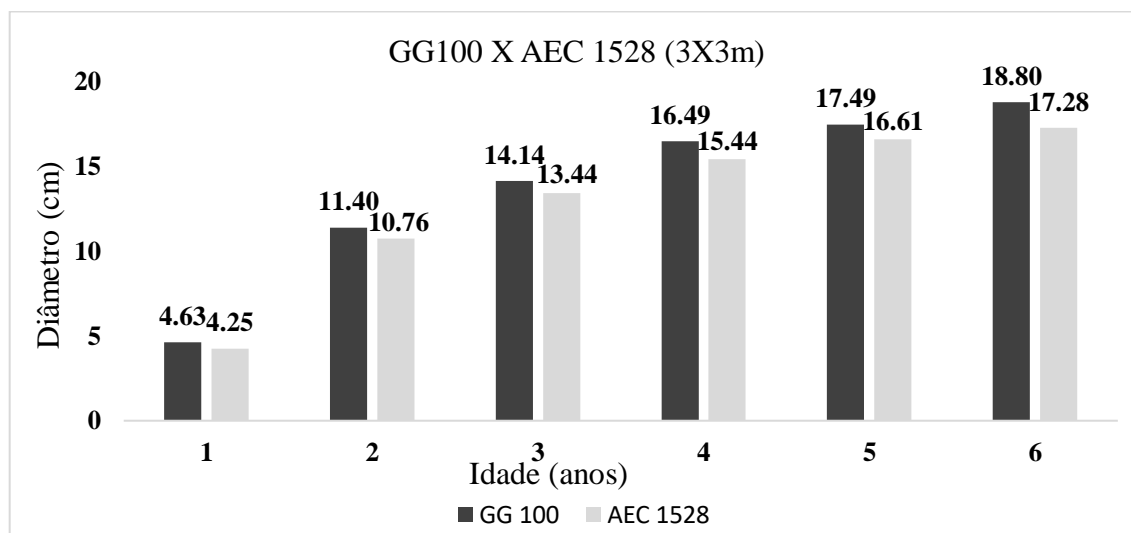
A análise da Tabela 4 revela variações significativas nos diâmetros médios entre os diferentes tratamentos. O clone GG100, quando cultivado no espaçamento 3x2 m, apresentou um diâmetro médio de aproximadamente 17,19 cm. Contudo, no espaçamento mais amplo de 3x3 m, este mesmo clone atingiu a maior média diamétrica observada entre todos os tratamentos, com cerca de 18,80 cm. Em contraste, o clone AEC 1528 exibiu um comportamento distinto. No espaçamento 3x3 m, este clone alcançou um diâmetro médio de aproximadamente 17,28 cm, enquanto no espaçamento mais adensado de 3x2 m, registrou a menor média diamétrica entre todos os tratamentos, com aproximadamente 15,84 cm.

Comparando o Figura 3 e a Figura 4, é possível notar a diferença diamétrica entre os diferentes tratamentos, observa-se que o clone GG 100 teve um crescimento superior ao clone AEC 1258.



**Figura 3**– Crescimento diamétrico dos clones GG100 e AEC 1528 no espaçamento 3x2m ao longo dos 6 anos.

**Fonte:** Elaboração do próprio autor.



**Figura 4** – Crescimento diamétrico dos clones GG100 e AEC 1528 no espaçamento 3x3m ao longo dos 6 anos.

**Fonte:** Elaboração do próprio autor.

A partir dos dados apresentados, procedeu-se à execução de uma análise de variância (ANOVA) utilizando um delineamento fatorial 2x2. O estudo foi conduzido sob um delineamento inteiramente casualizado (DIC), no qual foram avaliados os efeitos dos clones, dos espaçamentos e da interação entre clone e espaçamento sobre a variável diâmetro. Os

resultados desta análise estatística foram sistematizados em um quadro auxiliar e estão dispostos na Tabela 5:

**Tabela 5** – Quadro auxiliar dos valores totais do diâmetro por clone e espaçamento.

<b>Quadro Auxiliar - Interação (totais)</b>			
<b>Clone</b>	<b>Espaçamento</b>		<b>Totais</b>
	<b>3x2</b>	<b>3x3</b>	
<b>GG 100</b>	68,76	75,18	143,94
<b>AEC 1528</b>	63,35	69,14	132,49
<b>Totais</b>	132,11	144,32	276,43

**Fonte:** Elaboração do próprio autor.

Com os totais realizou-se a análise de variância para a variável volumetria e foi encontrado a ANOVA apresentado na Tabela 6:

**Tabela 6** – Quadro da análise de variância (ANOVA) do diâmetro para os dois clones nos dois espaçamentos, aos 72 meses de idade.

<b>Fonte de Variação</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fcal.</b>	<b>Ftab.</b>
<b>Fator Clone</b>	1	8,1998	8,1998	43,69*	4,75
<b>Fator Espaçamento</b>	1	9,3173	9,3173	49,64*	4,75
<b>Interação Clone x Espaçamento</b>	1	0,0257	0,0257	0,14 <sup>ns</sup>	4,75
<b>Tratamentos</b>	3	17,5428	5,8476	-	-
<b>Resíduos</b>	12	2,2523	0,1877	-	-
<b>Total</b>	15	19,7952	-	-	-

\*: significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $p > 0,05$ ); <sup>ns</sup>: não significativo

**Fonte:** Elaboração do próprio autor.

A análise dos resultados na tabela 6 revela diferenças estatisticamente significativas no fator clone e no fator espaçamento. Este fato indica que tanto os clones quanto os espaçamentos exercem influência sobre o diâmetro das árvores no plantio, conseqüentemente, a hipótese de nulidade é rejeitada.

Seguindo com o teste F constatou-se que o fator interação clone x espaçamento não apresentou diferenças significativas para o diâmetro. Este resultado sugere que, embora os fatores individuais (clone e espaçamento) afetem o diâmetro, a combinação destes não produz um efeito interativo significativo sobre esta variável.

Após a constatação de diferenças significativas entre os clones e espaçamentos, procedeu-se com o teste de Tukey para comparação de médias com o propósito de identificar qual tratamento resultou em maior crescimento em diâmetro, o que pode ser visto na Tabela 7:

**Tabela 7** – Pares de médias dos diâmetros seguidos por uma mesma letra, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, aos 72 meses.

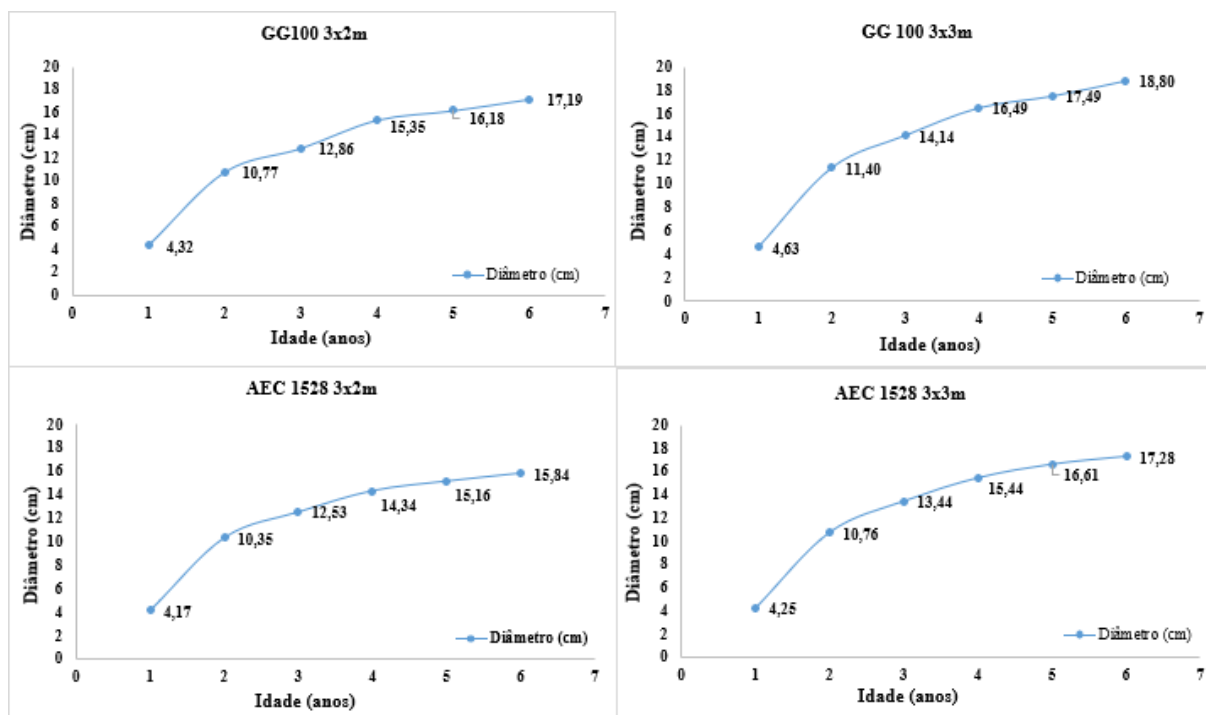
<b>Quadro Auxiliar - Interação (média)</b>			
<b>Clone</b>	<b>Espaçamento</b>		<b>Média</b>
	<b>3x2</b>	<b>3x3</b>	
<b>GG 100</b>	17,18 bA	18,79 aA	17,99
<b>AEC 1528</b>	15,83 bB	17,28 aB	16,56
<b>Média</b>	16,51	18,04	17,28

**Fonte:** Elaboração do próprio autor.

Para a aplicação do teste de Tukey, foi necessário calcular a diferença mínima significativa (DMS,  $\Delta$ ) no valor de aproximadamente 0,66 cm. Ao analisar o fator espaçamento, observou-se uma diferença das médias de 1,52 cm, valor esse que excede o DMS calculado, portanto, é possível constatar a existência de uma diferença estatisticamente significativa no fator espaçamento para a variável diamétrica. Esta constatação indica que povoamento mais densos tendem a ter um menor diâmetro em comparação com um povoamento menos denso.

Para o fator clone, a diferença das médias foi de 1,43 cm, mantendo o valor superior ao DMS calculado, portanto, é notório o efeito significativo nos diferentes clones, assim, constata-se que o clone GG 100 obtém maior média diamétrica em relação ao AEC 1528.

Uma análise foi realizada para a curva de crescimento para a variável diâmetro, conforme a figura 5:



*Figura 5 – Curvas de crescimento diamétrico para diferentes clones.*

**Fonte:** Elaboração do próprio autor.

Na Tabela 8, encontra-se a síntese das informações da variável volume por unidade de área (hectare) para os tratamentos 1, 2, 3 e 4. O tratamento 3 (clone GG 100 e espaçamento 3x3m) apresentou o maior valor de coeficiente de variação (CV%), desvio padrão e variância para o volume, seguido dos tratamentos 4, 2 e 1 respectivamente.

**Tabela 8** - Produção volumétrica por parcela, máximo, média, mínimo, desvio padrão, coeficiente de variação e variância.

Volumetria (m <sup>3</sup> /ha)	GG 100 3x2	AEC 1528 3x3	GG 100 3x3	AEC 1528 3x2
<b>Parcela 1</b>	407,58	268,25	333,19	335,60
<b>Parcela 2</b>	418,55	267,33	364,43	365,51
<b>Parcela 3</b>	443,22	277,33	370,21	378,91
<b>Parcela 4</b>	443,86	293,67	393,35	390,96
<b>Máximo</b>	443,86	293,67	393,35	390,96
<b>Média</b>	428,30	276,64	365,29	367,74
<b>Mínimo</b>	407,58	267,33	333,19	335,60
<b>Desvio Padrão</b>	18,16	12,21	24,78	23,82
<b>Variância</b>	329,70	149,14	614,21	567,24
<b>Coeficiente de Variação</b>	4,24	4,41	6,78	6,48

**Fonte:** Elaboração do próprio autor.



Através das análises volumétricas realizadas, foi possível determinar as médias de volume individual para cada tratamento. O tratamento 1 apresentou uma média do volume de cada árvore de 0,2714 m<sup>3</sup>, o tratamento 2 resultou em 0,2576 m<sup>3</sup>, no caso do tratamento 3, a média volumétrica alcançou 0,3288 m<sup>3</sup>, e o tratamento 4 registrou uma média de 0,2234 m<sup>3</sup>.

Para uma análise mais detalhada, os dados volumétricos foram estruturados em quatro sub parcelas (I, II, III e IV) para cada tratamento. Esses resultados foram então convertidos e expressos em metros cúbicos por hectare (m<sup>3</sup>/ha), conforme apresentado na Tabela 9.

Esta abordagem metodológica permitiu uma avaliação mais precisa e comparativa dos volumes entre os diferentes tratamentos e suas respectivas sub parcelas.

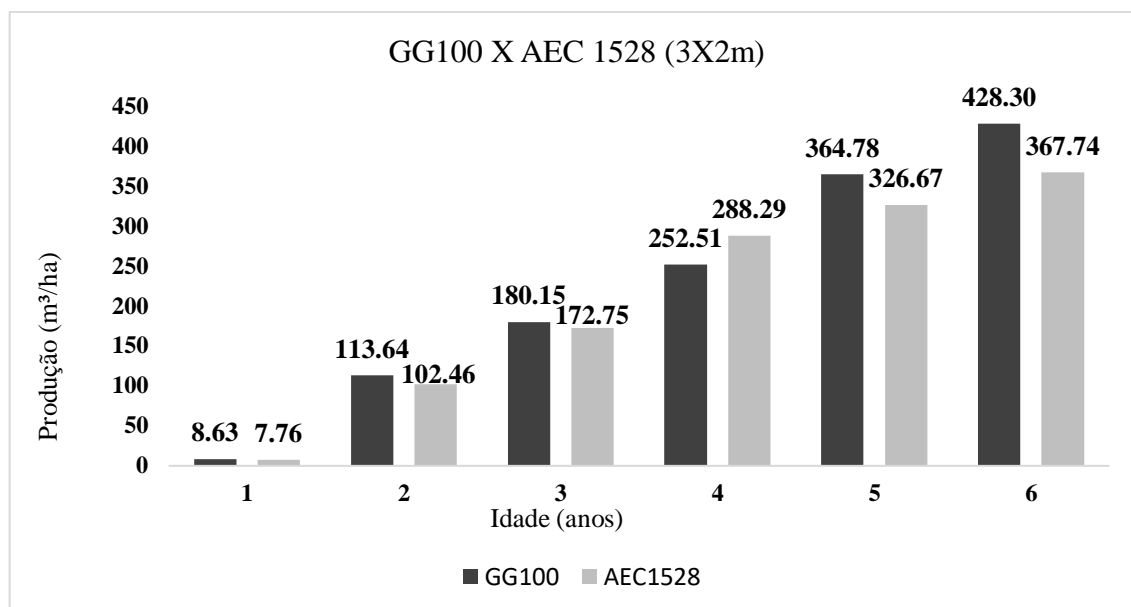
**Tabela 9** – produção volumétrica (m<sup>3</sup>/há) nos diferentes clones de cada sub parcelas

Volume (m³/ha)	Clone				Total
	GG 100		AEC 1528		
	Espaçamento				
	3x2	3x3	3x2	3x3	
I	407,58	333,19	335,60	268,25	1344,62
II	418,55	364,43	365,51	267,33	1415,83
III	443,22	370,21	378,91	277,33	1469,66
IV	443,86	393,35	390,96	293,67	1521,84
Médias	428,30	365,29	367,74	276,64	1437,99

**Fonte:** Elaboração do próprio autor.

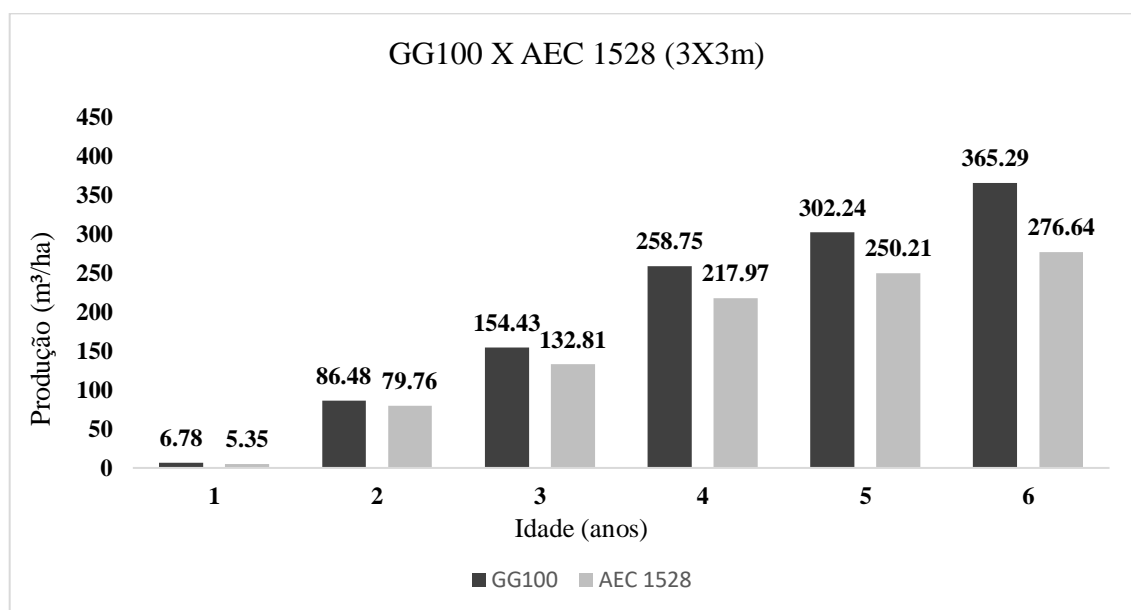
A tabela 9 compara os diferentes clones e seus diferentes espaçamentos, é possível observar que o clone GG 100 para o espaçamento 3x2 m apresentou uma média volumétrica de 428,30 m<sup>3</sup>/há, enquanto o espaçamento 3x3 m do mesmo clone foi de aproximadamente 365,29 m<sup>3</sup>/há, já o clone AEC 1528 apresentou, para o espaçamento 3x2 m, aproximadamente 367,74 m<sup>3</sup>/há e para o espaçamento 3x3 m, aproximadamente 276,64 m<sup>3</sup>/há, o menor valor médio estimado para os 4 tratamentos.

No Figura 6, é possível acompanhar o rápido crescimento dos dois clones no espaçamento 3x2 m, enquanto na figura 7 é notório que o crescimento no espaçamento 3x3 m ocorre de forma mais demorada ao longo dos 6 anos (72 meses) de idade.



**Figura 6**– Crescimento volumétrico dos clones GG100 e AEC 1528 no espaçamento 3x2m ao longo dos 6 anos.

**Fonte:** Elaboração do próprio autor.



**Figura 7**– Crescimento volumétrico dos clones GG100 e AEC 1528 no espaçamento 3x3m ao longo dos 6 anos.

**Fonte:** Elaboração do próprio autor

A partir dos dados apresentados na Tabela 1, procedeu-se à execução de uma análise de variância (ANOVA) utilizando um delineamento fatorial 2x2. O estudo foi conduzido sob um delineamento inteiramente casualizado (DIC), no qual foram avaliados os efeitos dos clones, dos espaçamentos e da interação entre clone e espaçamento sobre a variável volume. Os resultados desta análise estatística foram sistematizados em um quadro auxiliar e estão dispostos na Tabela 10:

**Tabela 10** – Quadro auxiliar dos valores totais da produção volumétrica (m<sup>3</sup>/há) por clone e espaçamento.

<b>Quadro Auxiliar - Interação (totais)</b>			
<b>Clone</b>	<b>Espaçamento</b>		<b>Total</b>
	<b>3x2</b>	<b>3x3</b>	
<b>GG 100</b>	407,58	333,19	740,77
<b>AEC 1528</b>	335,60	268,25	603,86
<b>Total</b>	743,18	601,44	1344,62

**Fonte:** Elaboração do próprio autor.

Com os totais realizou-se a análise de variância para a variável volumetria e foi encontrado a ANOVA apresentado na Tabela 11:

**Tabela 11** – Quadro da análise de variância (ANOVA) do volume para os dois clones nos dois espaçamentos, aos 72 meses de idade.

<b>Fonte de Variação</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fcal.</b>	<b>Ftab.</b>
<b>Fator Clone</b>	1	22263,38	22263,38	53,64*	4,75
<b>Fator Espaçamento</b>	1	23749,17	23749,17	57,22*	4,75
<b>Interação Clone x Espaçamento</b>	1	789,20	789,20	1,90 <sup>ns</sup>	4,75
<b>Tratamentos</b>	3	46801,74	15600,58		
<b>Resíduos</b>	12	4980,84	415,07		
<b>Total</b>	15	51782,59			

\*: significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $p > 0,05$ ); <sup>ns</sup>: não significativo

**Fonte:** Elaboração do próprio autor

A análise dos resultados na tabela 11 revela diferenças estatisticamente significativas no fator clones e no fator espaçamento. Este fato indica que tanto os clones quanto os espaçamentos exercem influência sobre o volume das árvores no plantio, conseqüentemente, a hipótese de nulidade é rejeitada.

Seguindo com o teste F constatou-se que o fator interação clone x espaçamento não apresentou diferenças significativas para o volume. Este resultado sugere que, embora os fatores individuais (clone e espaçamento) afetem o volume, a combinação destes não produz um efeito interativo significativo sobre esta variável de interesse.

Após a constatação de diferenças significativas entre os clones e espaçamentos, procedeu-se com o teste de Tukey para comparação de médias com o propósito de identificar qual tratamento resultou em uma maior produtividade por hectare, o que pode ser visto na Tabela 12:

**Tabela 12** – Pares de médias de volume seguidos por uma mesma letra, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, aos 72 meses.

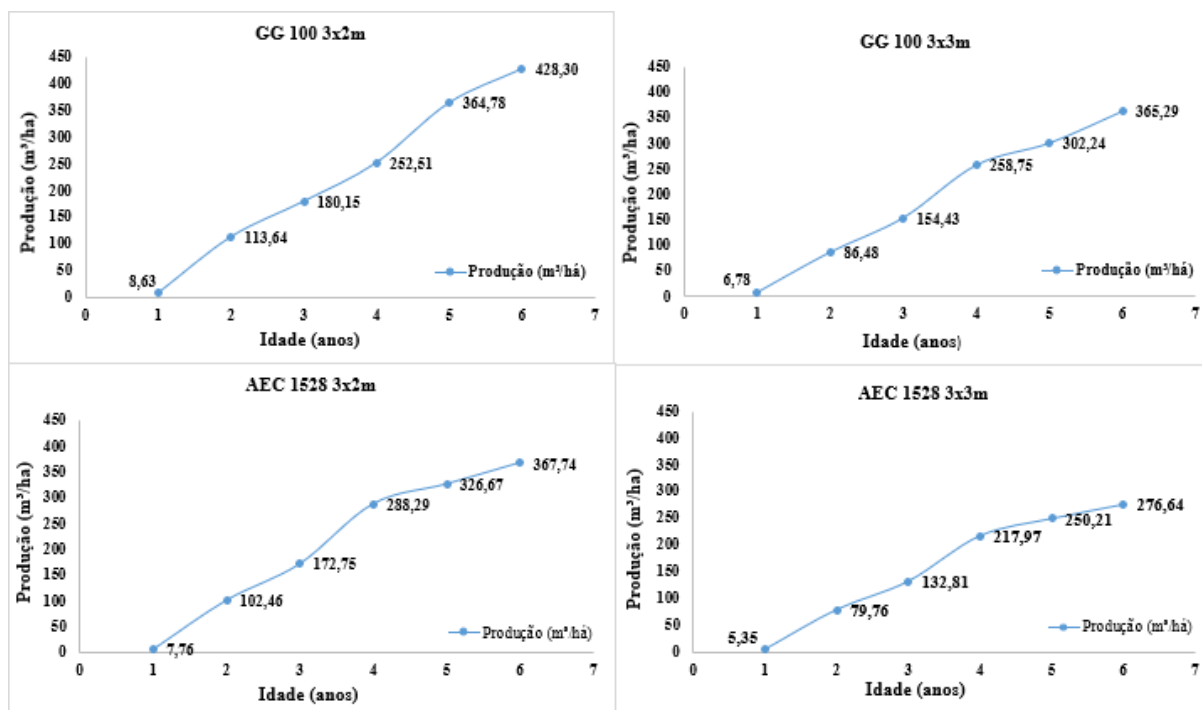
Clone	Espaçamento		Média
	3x2	3x3	
GG 100	428,3 aA	365,29 bA	396,80
AEC 1528	367,74 aB	276,64 bB	322,19
Média	398,02	320,97	359,50

**Fonte:** Elaboração do próprio autor

Para a aplicação do teste de Tukey, foi necessário calcular a diferença mínima significativa (DMS,  $\Delta$ ), o valor de q tabelado foi de 3,08, e o resultado encontrado para o DMS foi no valor de 31,37 m<sup>3</sup>. Ao analisar o fator espaçamento, observou-se uma diferença das médias de 77,05 m<sup>3</sup>, valor esse que excede o DMS calculado, portanto, é possível constatar a existência de uma diferença estatisticamente significativa no fator espaçamento para a variável volumétrica. Esta constatação indica que povoamento mais densos tendem a ter maior volume do que plantios menos densos, devido a quantidade de árvores.

Para o fator clone, a diferença das médias foi de 74,61 m<sup>3</sup>, mantendo o valor superior ao DMS calculado, portanto, é notório o efeito significativo nos diferentes clones, assim, constata-se que o clone GG 100 obtém maior produtividade volumétrica em relação ao clone AEC 1528.

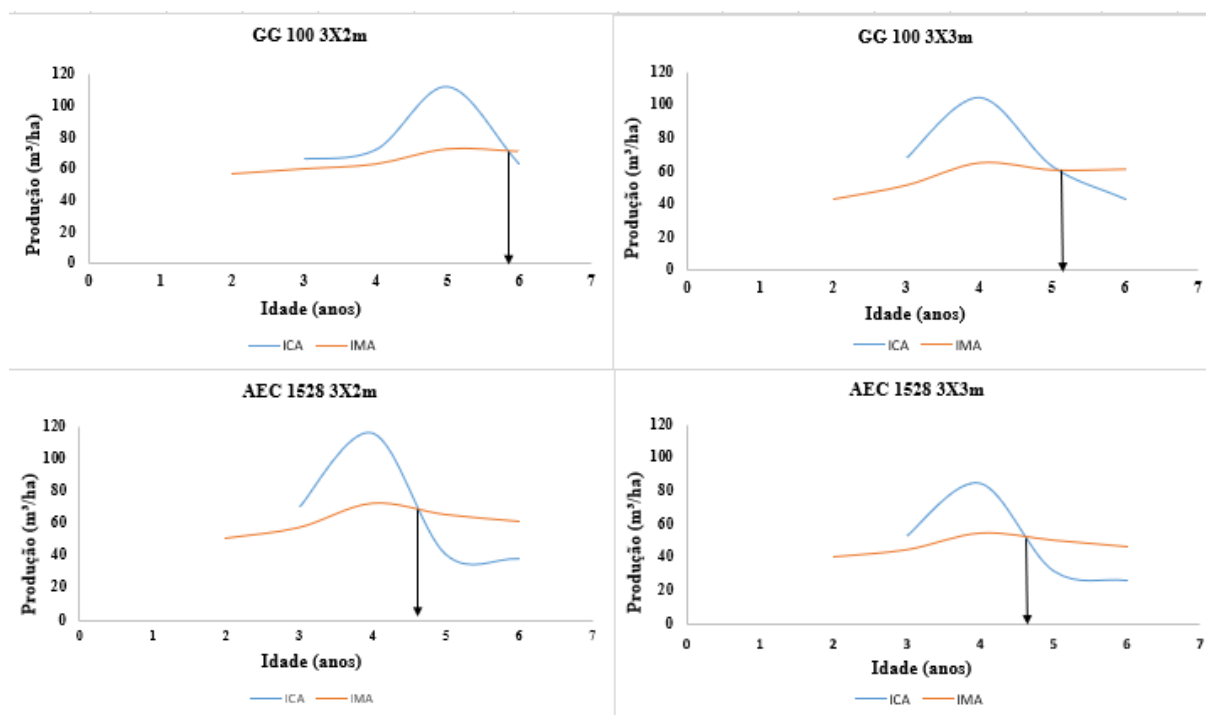
A análise da curva de produção volumétrica foi conduzida para os clones GG 100 e AEC 1528, cultivados sob espaçamentos de 3x2 m e 3x3 m, avaliando seu desenvolvimento até o 6º ano de idade. Os resultados, ilustrados na Figura 8, evidenciam um crescimento acentuado ao longo dos 72 meses de estudo para ambos os clones.



**Figura 8** – Curvas de produção volumétrica para os diferentes clones.

**Fonte:** Elaboração do próprio autor.

No presente estudo, foram analisadas as curvas de incremento corrente anual (ICA) e incremento médio anual (IMA) para os dois clones, cultivados em dois espaçamentos diferentes. A análise das curvas de crescimento revelou o ponto de interseção entre o Incremento Corrente Anual (ICA) e o Incremento Médio Anual (IMA) em todos os tratamentos. Este cruzamento é de significativa importância silvicultural, pois indica o momento em que o povoamento está silviculturalmente maduro.



**Figura 9** – Curvas de ICA x IMA em seus diferentes tratamentos para a variável volume.

**Fonte:** Elaboração do próprio autor.

Analisando a figura 9, é notório que o clone GG100 dependente do espaçamento teve a sua rotação técnica posterior ao clone AEC 1258, enquanto as curvas do IMA e ICA do clone AEC 1528 se encontraram antes do 5º ano, as curvas do clone GG100 se encontraram somente posterior ao 5º ano.

**Tabela 13** - Tabela de idades e volumes e seus respectivos ICA e IMA dos clones GG 100 e AEC 1528

GG 100 3X2 m				AEC 1528 3x2 m			
Idade (anos)	Volume (m³/há)	ICA	IMA	Idade (anos)	Volume (m³/há)	ICA	IMA
2	113,64		56,82	2	102,46		51,23
3	180,15	66,51	60,05	3	172,75	70,29	57,58
4	252,51	72,36	63,13	4	288,29	115,54	72,07
5	364,78	112,27	72,96	5	326,67	41,07	65,33
6	428,30	63,52	71,38	6	367,74	38,38	61,29

GG 100 3X3 m				AEC 1528 3x3 m			
Idade (anos)	Volume (m³/há)	ICA	IMA	Idade (anos)	Volume (m³/há)	ICA	IMA
2	86,48		43,24	2	79,76		39,88
3	154,43	67,95	51,48	3	132,81	53,06	44,27
4	258,75	104,32	64,69	4	217,97	85,16	54,49
5	302,24	63,05	60,45	5	250,21	32,24	50,04
6	365,29	43,49	60,88	6	276,64	26,43	46,11

**Fonte:** Elaboração do próprio autor.

A Tabela 13 apresenta o volume de madeira em diferentes idades, bem como os respectivos Incrementos Correntes Anuais (ICA) e Incrementos Médios Anuais (IMA) para os clones GG 100 e AEC 1528, em dois espaçamentos distintos. O clone GG 100 atingiu seu ponto ótimo de corte no quinto ano, tanto no espaçamento 3x3 m quanto no 3x2 m, com volumes de 302,24 m<sup>3</sup>/ha e 364,78 m<sup>3</sup>/ha, respectivamente. Atualmente, os volumes deste clone são de 365,29 m<sup>3</sup>/ha (3x3 m) e 428,30 m<sup>3</sup>/ha (3x2 m), representando um incremento de 63,05 m<sup>3</sup>/ha e 63,52 m<sup>3</sup>/ha, respectivamente, em relação ao ponto ótimo de corte.

Por sua vez, o clone AEC 1528 apresentou seu ponto ótimo de corte no quarto ano para ambos os espaçamentos. No espaçamento 3x3 m, o volume no ponto ótimo de corte foi de 217,97 m<sup>3</sup>/ha, enquanto no espaçamento 3x2 m foi de 288,29 m<sup>3</sup>/ha. Os volumes atuais deste clone são de 275,64 m<sup>3</sup>/ha (3x3 m) e 367,74 m<sup>3</sup>/ha (3x2 m), indicando um aumento de 57,67 m<sup>3</sup>/ha e 79,45 m<sup>3</sup>/ha, respectivamente, em comparação com o ponto ótimo de corte.

## **4. DISCUSSÕES**

### **4.1. Análise da variável dendrométrica diâmetro**

O estudo demonstrou que as médias diamétricas dos clones de eucalipto no espaçamento menos denso (3x3m) foi superior aos clones do espaçamento mais denso (3x2m). este resultado pode ser explicado pela menor competição de recursos essenciais para a árvore em povoamentos menos adensados (DE VERA et al., 2022; MARCOLINO, 2010)

A escolha do espaçamento deve considerar o produto florestal final desejado e suas especificações. Em plantios mais adensados, observa-se a tendência de produção de indivíduos com menores diâmetros e volume final comprometido devido à maior competição. Por outro lado, em povoamentos menos densos, o sistema produtivo tende a ser mais eficiente, otimizando o crescimento em diâmetro e volume. (SEREGHETTI et al., 2015)

Espaçamentos mais amplos favorecem o desenvolvimento do diâmetro das árvores, resultando em um maior número de indivíduos em classes de maior diâmetro. Isso ocorre devido ao melhor aproveitamento dos recursos disponíveis na área vital de cada árvore, com menor competição.

A escolha do espaçamento deve estar alinhada com o objetivo da produção. Para a obtenção de indivíduos com maiores diâmetros, adequados para serraria, espaçamentos mais amplos são recomendados (ZARO et al., 2019; ARAUJO, 2021). Já para a produção de carvão,

celulose e papel, onde se busca maior produtividade volumétrica por área, espaçamentos mais adensados são preferíveis (NETO et. al., 2010).

#### **4.2. Análise da variável dendrométrica volume**

A análise da variável dendrométrica volume revelou que o efeito do espaçamento é estatisticamente significativo ao nível de 5% de probabilidade, indicando uma influência substancial deste fator sobre a produção volumétrica. Os resultados demonstraram que o espaçamento 3x2m apresentou maiores valores volumétricos por área em comparação ao espaçamento 3x3m, corroborando com estudos anteriores que apontam para uma relação inversa entre a densidade de plantio e o volume individual das árvores. (SOARES, 2015)

Os resultados obtidos neste estudo são consistentes com as observações de outros pesquisadores na área, demonstrando que o volume individual das árvores é superior em espaçamentos mais amplos, atribuindo este fenômeno à maior disponibilidade de área vital para o desenvolvimento de cada indivíduo (RIBEIRO et al., 2017). Especificamente, árvores cultivadas em espaçamento 3x3 m, com área vital de 9 m<sup>2</sup>, tendem a apresentar maior volume individual em comparação àquelas dispostas em espaçamento 3x2 m, que dispõem de uma área vital de apenas 6 m<sup>2</sup>.

No entanto, a maior produtividade por área (hectare) é observada em povoamentos mais populosos, de menor espaçamento, ou seja, o espaçamento 3x2 m (MORAIS, 2006). Esta relação entre espaçamento e volume individual e volume por área ressalta a importância da configuração espacial do plantio na determinação do crescimento e produtividade das árvores.

Os mesmos resultados foram encontrados no presente trabalho, fazendo com que se espere mais volume por área em plantios com maiores densidades populacionais, e o volume individual maior em plantios com menores densidades, sendo assim a volumetria final é compensada pelo número de indivíduos em um menor espaço, em pesquisas semelhantes foram observadas o mesmo resultado (JESUS; SOUZA; GUERRA, 2021; Côrrea et. al, 2020; PORFIRIO, 2018).

Observou-se que plantações com espaçamentos mais reduzidos apresentam uma tendência à estagnação precoce em comparação com aquelas estabelecidas em espaçamentos mais amplos. Este fenômeno pode ser atribuído à intensificação da competição interespecífica por recursos essenciais, incluindo nutrientes, água e luz, bem como pelo espaço disponível para o desenvolvimento tanto do sistema radicular quanto da parte aérea das árvores. (DE VERA et al., 2022; CORRÊA et al. 2020; SEREGHETTI et al., 2015).



Quando se busca obter árvores com maior volume individual e diâmetro superior, a implementação de espaçamentos mais amplos associados a rotações mais longas mostra-se como a estratégia mais apropriada (CORRÊA et al., 2020). Esta abordagem favorece o desenvolvimento de árvores de maior porte, reduzindo a competição por recursos e permitindo um crescimento mais robusto de cada indivíduo (SEREGHETTI et al., 2015). Por outro lado, para maximizar a produção volumétrica por unidade de área em ciclos de corte mais curtos, visando principalmente a produção de biomassa, a adoção de espaçamentos mais reduzidos demonstra ser mais eficaz (WATZLAWICK, 2020). Esta técnica resulta em uma maior densidade de árvores por hectare, otimizando a produção de biomassa total, embora com indivíduos de menor porte.

## 5. CONCLUSÃO

Constatou-se que tanto o volume como o diâmetro, existem diferença estatística significativa entre o fator espaçamentos 3x3 m e 3x2 m, e fator dos clones (GG 100 e AEC 1528) aos 72 meses de idade.

Para a interação dos fatores clones x espaçamento não existe diferença estatística significativa para as variáveis volume e diâmetro aos 72 meses de idade.

A maior média diamétrica foi encontrada no clone GG100 sob o espaçamento 3x3, enquanto a menor média diamétrica se apresentou no clone AEC 1528 no espaçamento 3x2.

A maior média volumétrica por área (hectare) foi encontrada no clone GG 100 sob o espaçamento 3x2, enquanto a menor média foi do clone AEC 1528 sob o espaçamento 3x3.

A melhor opção de escolha entre o clone e o espaçamento vai depender do produto final, caso o produto final seja para obtenção de energia recomenda-se o clone GG100 sob o espaçamento 3x2, caso o produto final necessite de árvores com maiores diâmetro recomenda-se o clone GG100 sob o espaçamento 3x3

Analisando as curvas ICA x IMA para a variável volume, o clone AEC1528 atinge sua maturidade silvicultural independente do espaçamento em idades mais precoces que o GG100, no Distrito Federal.

## REFERÊNCIAS

- ALVARES, Clayton Alcarde et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- AQUINO, P. S. R. **Crescimento inicial de eucalipto em função do espaçamento utilizando delineamento sistemático tipo “Leque”**. 2017. 130 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, 2017.
- ARAUJO, Emmanoella Costa Guaraná et al. **Estoque de carbono na madeira de Eucalyptus: relação material genético x espaçamento entre árvores**. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, v. 14, n. 2, p. e7998, 2021.
- BARTLETT, M. S. **Properties of sufficiency and statistical tests**. Proceedings of the Royal Statistical Society - Serie A, v.60, p.268-282, 1937.
- BINKLEY, Dan et al. **The interactions of climate, spacing and genetics on clonal Eucalyptus plantations across Brazil and Uruguay**. **Forest Ecology and Management**, v. 405, p. 271-283, 2017.
- CORRÊA, R. S.; SOARES, T. S.; ALVES, M. A.; SOUSA, J. P.; VIEIRA, E. M. **Espaçamentos de plantio promovem produção distinta em híbrido de eucalipto**. **Advances in Forestry Science**, v. 7, n. 3, p. 1073-1079, 2020.
- CARDOSO, Murilo Raphael Dias; MARCUZZO, Francisco Fernando Noronha; BARROS, Juliana Ramalho. Classificação climática de Köppen-Geiger para o estado de Goiás e o Distrito Federal. **Acta geográfica**, v. 8, n. 16, p. 40-55, 2015.
- DE ASSIS LEAL, F.; SOARES, I. M.; SOARES, T. S.. **Influência do espaçamento no diâmetro e altura de três clones de eucalipto**. **Revista Univap**, v. 22, n. 40, p. 12-12, 2016.
- DE LIMA, MAIDA CYNTHIA DUCA. **Efeito da borda na precisão do inventário florestal e na estimativa de multiprodutos em um povoamento de eucalipto**. Vitória da Conquista-BA: Uesb, 2017.
- ELOY, E. et al. **Espécies florestais em plantios de curta rotação para biomassa**. **Revista da Madeira**, v. 21, n. 5, p. 50-53, 2010.
- EMBRAPA. **Latossolos vermelhos**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/latossolos/latossolos-vermelhos>>.

FONSECA, S. M. et al. Manual prático de melhoramento genético do eucalipto. Viçosa: UFV, 2010.

GATTO, A. et al. **Ciclagem e balanço de nutrientes no sistema solo-planta em um plantio de Eucalyptus sp. no Distrito Federal.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 38, n. 3, p. 879-887, 2014.  
<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000300019>.

HIGA, R. C. V.; MORA, A. L.; HIGA, A. R. **Plantio de eucalipto na pequena propriedade rural.** 2. ed. Colombo: Embrapa Florestas, 2000

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Anual 2024.** 2024.

JESUS EUFRASIM-JUNIOR, H. DE .; SOUSA, J. M. R. DE .; GUERRA, S. P. S.. Efeito da adubação mineral e densidade de plantio nas características dendrométricas de plantações de eucalipto de rápido crescimento. Ciência Florestal, v. 31, n. 1, p. 350–366, jan. 2021.

KUPPUSAMY, S., Ramanathan, S., Sengodagounder, S., Senniappan, C., Brindhadevi, K., & Kaliannan, T. (2019). **Minicutting - A powerful tool for the clonal propagation of the selected species of the Eucalyptus hybrid clones based on their pulpwood studies.** Biocatalysis and Agricultural Biotechnology.  
<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101357>.

LOPES, Emerson Delano et al. **Influência do espaçamento de plantio na produção energética de clones de Corymbia e Eucalyptus.** Floresta, v. 47, n. 1, p. 95-104, 2017.

MATIAS, S. V. B. G. **Desempenho silvicultural e qualidade da madeira de clones de Eucalyptus em sistemas de integração lavoura pecuária floresta.** 2015. 89 p. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2015.

MIRANDA, L. P. **Efeito de borda no inventário pré-corte de um povoamento Eucalyptus sp.** Diamantina-MG: UFVJM, 2016, 80 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

MORAIS, V. de M. **Dinâmica de crescimento de eucalipto clonal sob diferentes espaçamentos, na região noroeste do estado de Minas Gerais.** 2006. 63 f. 2006. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

MORTE, C. F. B. **Produção inicial de plantios clonais de eucalipto em espaçamentos distintos no Distrito Federal.** 2020.

- OLIVEIRA NETO, S. N.; REIS, G. G.; REIS, M. D. G. F.; LEITE, H. G.; NEVES, J. C. L. **Crescimento e distribuição diamétrica de *Eucalyptus camaldulensis* em diferentes espaçamentos e níveis de adubação na região de Cerrado de Minas Gerais.** *Floresta*, v. 40, n. 4, 2010.
- PALUDZYSZYN FILHO, Estefano; DOS SANTOS, Paulo Eduardo Telles. **Escolha de cultivares de eucaliptos em função do ambiente e do uso.** Embrapa Florestas Comunicado Técnico, 2013.
- PEREIRA, D. G. L. **Influência do espaçamento de plantio em povoamento de clones híbridos de *Eucalyptus* spp. no estado do Pará.** Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.
- PORFÍRIO, S. T. B. **Produtividade de um clone de *Eucalyptus urophylla* em função do espaçamento na região do Polo Gesseiro do Araripe.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Brasil.
- RIBEIRO, Maria Dolores dos Santos Barzotto et al. **Avaliação da produção de biomassa do fuste de um clone híbrido de eucalipto sob diferentes espaçamentos.** *Ciência florestal*, v. 27, p. 31-45, 2017.
- RIOS VOADORES. **A Ciência.** 2010. Disponível em: <https://riosvoadores.com.br/as-pesquisas/a-ciencia/>. Acesso em: 4 fev. 2025.
- ROSADO, Antônio Marcos et al. **Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade, estabilidade e adaptabilidade.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 47, p. 964-971, 2012.
- SANTOS, Sheila Rodrigues dos. **Influência da qualidade da madeira de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e do processo Kraft de polpação na qualidade da polpa branqueada.** 2005. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- SANTOS KF, Reichert JM. **Best tillage practices for eucalyptus growth and productivity: A review on the Brazilian experience.** *Rev Bras Cienc Solo*. 2022;46:e0210091. <https://doi.org/10.36783/18069657rbc20210091>
- SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.
- SEREGHETTI, G. C.; LANÇAS, K. P.; SARTORI, M. S.; REZENDE, M. A.; SOLER, R. R. **Efeito do espaçamento no crescimento e na densidade básica da madeira de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em florestas de ciclo curto.** *Energia na Agricultura*, v. 30, n. 3, p. 257-262, 2015.
- SHAPIRO, A. S. S., & WILK, M. B. (1965). **An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples).** *Biometrika*, 52(3/4), 591–611

SOARES, G. **Efeito do espaçamento na produção de madeira e qualidade do carvão vegetal, em pequena propriedade.** Disponível em: <<https://locus.ufv.br/handle/123456789/27999>>. Acesso em: 29 jan. 2025.

TEIXEIRA, E. C.; LIMA, A. P. L. de; LIMA, S. F. de; SORATTO, D. N.; RAMOS, K. V.; SILVA, W. G. da. **Energetic potential of eucalyptus clones wood in different planting spacing.** Research, Society and Development, [S. l.], v. 9, n. 7, p. e02973733, 2020.

TUKEY, J. W. (1949). **Comparing Individual Means in the Analysis of Variance.** Biometrics, 5(2), 99–114.

VERA, Damaris Elias et al. **Crescimento e forma do eucalipto em função da densidade de plantio.** Ciência Florestal, v. 32, p. 504-522, 2022.

WATZLAWICK, L. F.; BENIN, C. C. **Variáveis dendrométricas e produção de Eucalyptus benthamii em diferentes espaçamentos.** Colloquium Agrariae, v. 16, n. 2, p. 60-71, 2020.

ZARO, Geovanna C. et al. **Carbon sequestration in an agroforestry system of coffee with rubber trees compared to open-grown coffee in southern Brazil.** Agroforestry Systems, v. 94, p. 799-809, 2020.