

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

DANIEL MOURA PINHO GONÇALVES

**Modelagem do diâmetro da copa de dois clones de *Eucalyptus urograndis* sob
três espaçamentos em Rio Largo, Alagoas**

**Rio Largo
2023**

DANIEL MOURA PINHO GONÇALVES

**Modelagem do diâmetro da copa de dois clones de *Eucalyptus urograndis* sob
três espaçamentos em Rio Largo, Alagoas**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Florestal da Universidade Federal de
Alagoas, como requisito para obtenção do
grau de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Pagel
Florianó

**Rio Largo
2023**

Catalogação na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana - CRB4 - 1512

G635m Gonçalves, Daniel Moura Pinho.

Modelagem do diâmetro da copa de dois clones de *Eucalyptus urograndis* sob três espaçamentos em Rio Largo, Alagoas. / Daniel Moura Pinho Gonçalves. – 2023.

32f.: il.

Orientador(a): Eduardo Pagel Floriano.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Graduação em Engenharia Florestal, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2023.

Inclui bibliografia

1. Inventário Florestal. 2. coeficiente de correlação de Pearson. 3. Eucalipto. I. Título.

CDU: 630*2

FOLHA DE APROVAÇÃO

Daniel Moura Pinho Gonçalves

MODELAGEM DO DIÂMETRO DA COPA DE DOIS CLONES DE *Eucalyptus urograndis* SOB TRÊS ESPAÇAMENTOS EM RIO LARGO, ALAGOAS

Trabalho de Conclusão de Curso - TCC apresentado a Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias - CECA, como pré-requisito para obtenção do grau de Bacharel(a) Engenheiro(a) Florestal.

Data de Aprovação: 18 / 08 / 2023.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Eduardo Pagel Floriano
Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Campus de Engenharias e Ciências Agrárias – CECA
(Orientador)

Prof. Dr. Hugo Henrique Costa do Nascimento
Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Campus de Engenharias e Ciências Agrárias - CECA

Prof.^a Dr.^a Priscylla Costa Dantas
Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Campus de Engenharias e Ciências Agrárias - CECA

RESUMO

O crescimento de plantios de eucalipto é evidente em grande parte do território nacional e a região nordeste possui uma das menores áreas cultivadas. Nesse cenário, estudos sobre o desenvolvimento dessa espécie contribuem para viabilidade da região. O presente estudo apresenta o objetivo de definir um modelo de equação que melhor se adeque ao diâmetro da copa para dois clones híbridos de *Eucalyptus grandis* com *Eucalyptus urophylla* - I144 e VE41 - cultivados sob três espaçamentos entre árvores de 3m x 2m, 3m x 3m, 3m x 4m, e com 55 meses de idade, em uma área experimental do Campus de Engenharia e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, em Rio Largo, Alagoas, contendo três blocos casualizados em monocultivo com ou sem adubação. Foram realizados inventários florestais ao longo de 12; 19,2; 36,6; 42,6; 48,5 e 55,5 meses, na área do experimento com parcelas de 25 indivíduos mensuráveis, cada. Inicialmente foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson para eliminar as variáveis independentes mais correlacionadas entre si e com menor correlação com a variável dependente. As variáveis independentes diâmetro, altura, idade e área por árvore foram submetidas a conversões para que fossem analisadas. Por fim, o software SAS *OnDemand for Academics* foi utilizado para selecionar as variáveis que permaneceram na equação, através do procedimento REG com a opção *STEPWISE*. Optou-se por separar o diâmetro do tronco e a idade em dois modelos diferentes para depois compará-los. As equações ajustadas apresentaram valor de F e t altamente significativo, sendo adequadas para realizar estimativas do diâmetro da copa. As equações foram de simples aplicação, apresentaram variáveis diâmetro do tronco e idade como preditoras, ou seja, menos susceptíveis a erros. Com relação a superfície de projeção das copas observou que os maiores espaçamentos permitiram maior crescimento às copas, o que ocorreu proporcionalmente com o aumento do espaço disponível. A comparação dos clones I144 e VE41 mostrou uma leve diferença no diâmetro da copa tanto ao longo do tempo quanto com relação ao diâmetro do tronco.

Palavras-chave: Inventário Florestal; coeficiente de correlação de Pearson; Eucalipto.

ABSTRACT

The growth of eucalyptus plantations is evident across a significant portion of the national territory, with the northeastern region having one of the smallest cultivated areas. Within this context, studies on the development of this species contribute to the region's viability. This study aims to define an equation model that best fits the crown diameter for two hybrid clones of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus urophylla* - I144 and VE41 - cultivated under three different tree spacing conditions (3m x 2m, 3m x 3m, 3m x 4m) and at 55 months of age in an experimental area at the Campus of Engineering and Agricultural Sciences of the Federal University of Alagoas, Rio Largo, Alagoas, involving three randomized blocks in monoculture with or without fertilization. Forest inventories were conducted over various periods, and the Pearson correlation coefficient was used to select relevant independent variables. These variables underwent transformations and were analyzed through the SAS OnDemand for Academics software to identify the most suitable equation, separating trunk diameter and age into different models for comparison. The adjusted equations exhibited highly significant F and t values, proving adequate for crown diameter estimations. The equations were simple in application, with trunk diameter and age as predictors, implying reduced susceptibility to errors. Concerning crown projection surfaces, it was observed that larger spacings facilitated greater crown growth, proportional to increased available space. The comparison between I144 and VE41 clones displayed a slight difference in both crown diameter over time and in relation to trunk diameter.

Keywords: Forest Inventory; Pearson correlation coefficient; *Eucalyptus*.

FIGURAS

FIGURA 1 - Arranjo experimental do plantio de <i>Eucalyptus</i> sp. com a distribuição dos tratamentos	16
FIGURA 2 – Gráfico do diâmetro da copa (DC) em relação ao diâmetro do tronco (d), área por árvore (aa) e clone, com dados originais sem a aplicação das equações 1 e 2.....	25
FIGURA 3 – Gráfico 3d construído com a Equação 1, ajustada para descrever o diâmetro da copa (DC) em função do diâmetro do tronco (d), da área por árvore (aa) e do clone.....	26
FIGURA 4 – Gráfico 3d construído com a Equação 2, resultante do modelo 2, para descrever o diâmetro da copa (DC) em função da idade em meses (t), da área por árvore (aa) e do clone (Dummy)	27

TABELAS

TABELA 1 - Modelos para seleção de variáveis por STEPWISE.....	17
TABELA 2 – Estatísticas simples das variáveis medidas no experimento de <i>Eucalyptus</i> do CECA/UFAL.....	18
TABELA 3 - Coeficientes de Correlação de Pearson (r) e Prob > r sob H0: Rho=0 entre as variáveis medidas no experimento de <i>Eucalyptus</i> do CECA/UFAL	19
TABELA 4 – Modelo 1: Resumo da seleção por STEPWISE.....	20
TABELA 5 – Modelo 1: Coeficientes estimados	21
TABELA 6 – Equação 1: Análise da variância da regressão.....	22
TABELA 7 – Coeficientes estimados da Equação 1 para descrever o diâmetro da copa de <i>Eucalyptus</i>	22
TABELA 8 – Modelo 2: Resumo da seleção por STEPWISE.....	23
TABELA 9 – Modelo 2: Coeficientes estimados	23
TABELA 10 – Equação 2: Análise da variância da regressão.....	24
TABELA 11 – Coeficientes estimados da Equação 2 para descrever o diâmetro da copa de <i>Eucalyptus</i>	24
TABELA 12 – Projeção da ocupação do solo pela superfície de projeção das copas (SPC) de <i>Eucalyptus urograndis</i> , sob 3 espaçamentos, aos 55 meses de idade.	28

SIGLAS E SÍMBOLOS

aa – área por árvore em metros quadrados.

CECA – Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da UFAL.

C – circunferência.

CV – Coeficiente de Variação em percentagem.

d – diâmetro do tronco a 1,3 m de altura em centímetros.

DC – diâmetro da copa em metros.

Dummy – clone.

FIV – Fator de Inflação de Variância.

h – altura total da árvore em metros.

r – Coeficiente de Correlação de Pearson.

R² - Coeficiente de Determinação.

R²aj - Coeficiente de Determinação ajustado.

SPC – Superfície de Projeção de Copas.

Syx – Erro Padrão de Estimativas.

Syx% - Erro Padrão de Estimativas em percentagem.

OC% - Ocupação do terreno pelas Copas em percentagem.

t – Idade em meses.

UFAL – Universidade Federal de Alagoas.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1 FLORESTAS PLANTADAS	11
2.2 <i>EUCALYPTUS</i>	12
2.3 SUPERFÍCIE DE PROJEÇÃO DE COPAS.....	13
2.4 ÍNDICE DE COMPETIÇÃO DE COPAS.....	14
3 METODOLOGIA	15
3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	15
3.2 AMOSTRAGEM E MEDIÇÕES	16
3.3 ANÁLISE DOS DADOS.....	16
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
5 CONCLUSÕES	29
REFERÊNCIAS.....	30

1 INTRODUÇÃO

O Estado de Alagoas tem uma das menores áreas dedicadas à silvicultura entre as unidades da federação e possui uma população superior a 3,4 milhões de habitantes. Considerando-se a média de produção mundial de madeira, o Estado deveria ter cerca de 72 mil hectares de florestas plantadas com produtividade anual em torno de 35 m³/ha, produzindo 2,55 milhões de m³ para abastecer o mercado local (FLORIANO, 2018). Uma vez que contava com cerca de 15 mil hectares de cultivos de florestas e com uma produção de menos de 100 mil m³ em 2015 (IBGE, 2018). A madeira disponível no comércio de Alagoas chega em grande parte na forma de produtos industrializados importados de outros estados como madeira serrada, móveis e papéis, contudo, são escassas estatísticas a respeito desses dados e supõe-se que a maior parte da madeira não industrializada seja suprida pelas florestas nativas e pela importação, principalmente da Amazônia (FLORIANO, 2018).

De acordo Tonini e Arco-Verde (2005) a análise das copas das árvores em povoamentos florestais é de fundamental importância para a silvicultura e o manejo florestal. As copas representam a estrutura superior das árvores e desempenham um papel crucial na captura de luz solar, um recurso essencial para a fotossíntese e, portanto, para o crescimento e desenvolvimento das árvores. Nesse sentido, o estudo das copas permite avaliar a disponibilidade de luz no interior do povoamento, identificar possíveis limitações à produtividade florestal e tomar decisões de manejo que otimizem o crescimento das árvores.

A análise das copas também fornece informações relevantes sobre a competição intra e interespecífica entre as árvores, uma vez que a sobreposição das copas pode levar à redução no acesso à luz e a outros recursos. Compreender a intensidade e o impacto da competição de copas é essencial para determinar o espaçamento adequado entre árvores, planejar desbastes, definir a composição de espécies do povoamento e garantir uma distribuição eficiente dos recursos disponíveis (DURLO; DENARDI, 1998; SEIDEL et al., 2016).

Além disso, a caracterização das copas possibilita a identificação de indivíduos dominantes e suprimidos, contribuindo para a seleção de árvores que apresentem melhor desenvolvimento e potencial para produção de madeira de qualidade. A

observação das características das copas também pode ser útil para estimar a idade das árvores, quando outras informações estão indisponíveis (ORELLANA; KOEHLER, 2008).

Outro aspecto relevante é a relação entre as copas das árvores e a biodiversidade florestal. Diversas espécies de fauna, como aves e insetos, utilizam as copas como habitat, e a estrutura das copas pode influenciar a composição e a abundância da fauna associada à floresta. Portanto, o estudo das copas contribui para a compreensão dos processos ecológicos e da dinâmica das comunidades em ecossistemas florestais (VITAL, 2007).

A análise das copas de árvores em povoamentos florestais desempenha um papel essencial no manejo e conservação de florestas, pois através dessa análise, é possível entender a dinâmica da competição, a produtividade florestal, a distribuição de recursos e a relação entre as copas e a biodiversidade (DURLO; DENARDI, 1998; ORELLANA; KOEHLER, 2008; TONINI; ARCO-VERDE, 2005). Assim, a compreensão detalhada das características das copas proporciona subsídios importantes para a tomada de decisões eficientes e sustentáveis no manejo florestal.

Assim, como contribuição ao assunto, o objetivo deste trabalho foi modelar o diâmetro da copa de dois clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* com *Eucalyptus urophylla* cultivados sob três espaçamentos em Rio Largo, Alagoas.

O estudo teve como objetivos específicos:

- a) Verificar as correlações existentes entre as variáveis estudadas;
- b) Modelar o diâmetro de copa (DC) em função do diâmetro do tronco (d), área por árvore (aa), idade (t) e clone;
- c) Determinar a evolução da área de projeção das copas e percentagem de cobertura do solo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Florestas Plantadas

As florestas plantadas no Brasil têm se destacado como uma das áreas de maior relevância no cenário econômico, social e ambiental do país. Com uma história que remonta ao início do século XX, quando os primeiros plantios comerciais de espécies

florestais foram estabelecidos, o setor florestal brasileiro evoluiu consideravelmente ao longo das décadas. Atualmente, as florestas plantadas têm desempenhado um papel vital na provisão de recursos naturais, na promoção da sustentabilidade, no fomento da indústria e no enfrentamento de desafios globais, como as mudanças climáticas e a demanda crescente por produtos madeireiros e não madeireiros (EMBRAPA, 2017).

O Brasil, com sua vasta extensão territorial e diversidade climática, oferece condições propícias para o cultivo de uma ampla gama de espécies florestais. Desde a introdução de variedades exóticas, como o *Eucalyptus spp.* e o *Pinus spp.*, até o cultivo de espécies nativas de valor comercial, as florestas plantadas têm desempenhado um papel essencial na expansão da base de recursos florestais do país. A crescente demanda por celulose, papel, madeira, biomassa e outros produtos derivados das florestas tem impulsionado investimentos no setor, gerando empregos e contribuindo para a dinamização da economia (OLIVEIRA, 2017).

Além dos aspectos econômicos, as florestas plantadas desempenham um papel crucial na conservação ambiental. Plantios bem planejados e manejados adequadamente podem ajudar a reduzir a pressão sobre florestas naturais, prevenindo o desmatamento e a degradação dos ecossistemas nativos. Além disso, essas florestas podem atuar como sumidouros de carbono, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas e a manutenção do equilíbrio ambiental (OLIVEIRA, 2018).

2.2 *Eucalyptus*

O gênero *Eucalyptus*, originário da Austrália e ilhas da Oceania, é pertencente à família Myrtaceae e compreende outros 130 gêneros (VITAL, 2007). O Brasil, com sua diversidade climática e extensão territorial, oferece um ambiente propício para o cultivo de várias espécies de *Eucalyptus*. Dentre as inúmeras espécies presentes no país, algumas se destacam como principais clones plantados, caracterizando-se pelo rápido crescimento, adaptabilidade a diferentes condições edafoclimáticas e qualidade da madeira produzida. A escolha desses clones está associada não apenas à produtividade, mas também à sua adequação aos propósitos específicos, como produção de celulose, madeira serrada, energia, entre outros (SANTOS, 2013).

Os principais clones de *Eucalyptus* cultivados no Brasil incluem variedades híbridas de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus dunnii* e outras. Esses clones têm sido utilizados tanto em plantios comerciais como em projetos de restauração e reflorestamento, contribuindo para a expansão da base de recursos florestais do país. No entanto, o cultivo desses clones também suscita discussões sobre aspectos como a diversificação genética, impactos ambientais, riscos fitossanitários e a necessidade de manejo adequado para garantir sua sustentabilidade a longo prazo (VITAL, 2007).

2.3 Superfície de projeção de copas

A superfície de projeção de copas é um conceito importante na área da silvicultura e manejo florestal. Refere-se à projeção bidimensional das copas das árvores em um plano horizontal. É uma representação visual da área ocupada pelas copas das árvores quando projetadas no solo (ASSMANN, 1961; STERBA, 1991).

A compreensão da superfície de projeção de copas é fundamental para diversos aspectos da gestão florestal, como o planejamento do espaçamento entre árvores, a determinação da área efetiva de sombreamento, a avaliação da competição entre árvores e a estimativa da produtividade florestal (SANTOS, 2014).

Há influência de vários fatores, incluindo a forma e o tamanho das copas das árvores, a densidade de plantio, o manejo do dossel florestal e o estágio de desenvolvimento das árvores. Árvores com copas mais amplas e densas terão uma maior superfície de projeção, ocupando uma área maior no plano horizontal (DURLO, 2014).

O conhecimento da superfície de projeção de copas permite aos profissionais florestais tomarem decisões informadas sobre o manejo e a utilização dos recursos florestais. Por exemplo, ao planejar o espaçamento entre árvores, é importante considerar a superfície de projeção de copas para evitar a competição excessiva por recursos, como luz solar e nutrientes. Além disso, a estimativa da produtividade florestal também pode ser realizada com base na área coberta pelas copas das árvores (MELO, 2007).

Em resumo, a superfície de projeção de copas é um conceito-chave na gestão florestal, fornecendo informações sobre a área ocupada pelas copas das árvores. Sua

compreensão adequada é essencial para o planejamento eficiente do manejo florestal e a otimização da produtividade dos recursos florestais.

2.4 Índice de competição de copas

Segundo Tonini (2007), o índice de competição de copas é uma medida quantitativa utilizada em estudos florestais e ecológicos para avaliar o nível de competição entre as copas das árvores em um povoamento florestal com base em suas características. Ele fornece informações valiosas sobre o arranjo espacial e interações das copas das árvores, auxiliando na compreensão da alocação de recursos e padrões de crescimento dentro de um ecossistema florestal.

O índice de competição de copas é geralmente calculado considerando a sobreposição horizontal ou entrelaçamento das projeções das copas em uma determinada área. Ele leva em conta fatores como tamanho, forma e distribuição espacial das copas. O índice pode ser determinado usando diversos métodos, incluindo técnicas de análise de imagens, dados de sensoriamento remoto ou medições diretas das dimensões das copas no campo (COSTA, 2021).

Um valor mais alto do índice de competição de copas indica um maior grau de competição entre as copas das árvores, pois elas estão posicionadas próximas ou se sobrepondo. Essa competição ocorre devido à disponibilidade limitada de recursos essenciais, como luz, água e nutrientes, que são cruciais para o crescimento e desenvolvimento das árvores. À medida que as árvores competem por esses recursos, elas podem apresentar taxas de crescimento reduzidas, morfologia da copa alterada ou até mesmo mortalidade, dependendo da intensidade da competição (DURLO, 2004).

O índice de competição de copas tem importantes implicações para decisões de manejo florestal. Ao quantificar a competição entre copas, os gestores florestais podem identificar áreas com alto nível de competição e implementar intervenções adequadas, como desbaste ou poda, para aliviar a competição e promover o crescimento e vigor das espécies desejadas. Além disso, o índice de competição de copas pode auxiliar na avaliação da densidade e espaçamento adequados para um crescimento ótimo e utilização de recursos (DURLO; DENARDI, 1998).

Em estudos de pesquisa, o índice de competição de copas é amplamente utilizado para investigar diversos fenômenos ecológicos, incluindo padrões de crescimento das árvores, coexistência de espécies e dinâmica do povoamento florestal. Ele fornece informações valiosas sobre as complexas relações entre as copas das árvores dentro de um ecossistema florestal, contribuindo para nossa compreensão da estrutura florestal, produtividade e biodiversidade (ROMAN; BRESSAN; DURLO, 2009).

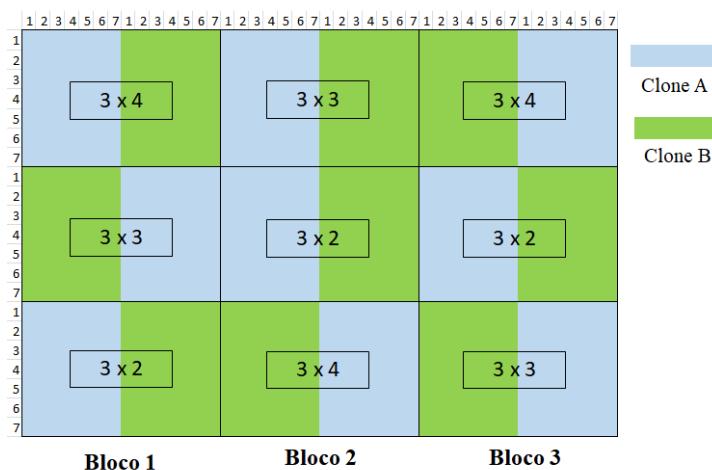
3 METODOLOGIA

3.1 Descrição da Área Experimental

Os dados utilizados neste estudo são provenientes de um plantio experimental localizado no Campus de Engenharias e Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas, situado na região de Rio Largo - AL ($9^{\circ} 29' 45''$ S, $35^{\circ} 49' 54''$ O e altitude de 127m), cujo clima da região segundo a classificação de Köppen, é “As”, ou seja, tropical chuvoso, com verão seco e inverno chuvoso (CRUZ et al., 2008), com temperatura média anual de $25,3^{\circ}$ C e precipitação de 1441 mm.

O plantio de eucaliptos foi realizado entre os períodos de 21/08/2017 a 29/08/2017. O experimento utilizou o delineamento estatístico inteiramente casualizado, disposto em arranjo fatorial 2 (clones) x 3 (espaçamentos), com 3 repetições, totalizando 18 unidades amostrais (Figura 1). As medições foram realizadas aos 12; 19,2; 36,6; 42,6; 48,5 e 55,5 meses de idade, com parcelas compostas por 25 árvores mensuráveis dispostas em espaçamentos retangulares de 3m x 2m, 3m x 3m e 3m x 4m.

FIGURA 1 - Arranjo experimental do plantio de *Eucalyptus* sp. com a distribuição dos tratamentos.



Fonte: o autor, 2023.

3.2 Amostragem e Medição

As árvores tiveram suas circunferências (c) a 1,3 m de altura medidos com fita métrica e posteriormente convertidas em diâmetro (d), a altura total (h) medida com hipsômetro laser e os diâmetros da copa nos sentidos Norte-Sul e Leste-Oeste medidos com trena métrica.

3.3 Análise dos Dados

Para o processamento de dados e modelagem de equações, os dois clones, I144 e VE41, foram convertidos em variáveis dummy ($I144=0$ e $VE41=1$). Os espaçamentos foram convertidos em área por árvore correspondentes a 6 m^2 ($3\text{m} \times 2\text{m}$), 9 m^2 ($3\text{m} \times 3\text{m}$) e 12 m^2 ($3\text{m} \times 4\text{m}$).

Inicialmente foram calculados os coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis: 1) dependente: DC = diâmetro da copa; e, 2) Independentes: Idade = idade do povoamento; d = diâmetro do tronco a 1,3m de altura; h = altura total da árvore; aa = área por árvore; dummy = clone. Com os resultados, procurou-se eliminar as variáveis independentes mais correlacionadas entre si e com menor correlação com a variável dependente.

Com base em Floriano (2022), as variáveis independentes (x) diâmetro (d), altura (h), idade (t) e área por árvore (aa) foram submetidas às transformações a seguir na tabela 1, formando novas variáveis:

TABELA 1 - Modelos para seleção de variáveis por STEPWISE

Modelo	Variável dependente	Variáveis independentes
1	DC	$d, d^2, d^3, d^4, d^5, 1/d, 1/d^2, 1/d^3, 1/d^4, 1/d^5, \ln(d), \ln(d^2), \ln(d^3), \ln(d^4), \ln(d^5), \ln(1/d), \ln(1/d^2), \ln(1/d^3), \ln(1/d^4), \ln(1/d^5), \sqrt[2]{d}, \sqrt[3]{d}, \sqrt[4]{d}, \sqrt[5]{d}; aa, aa^2, aa^3, aa^4, aa^5, 1/aa, 1/aa^2, 1/aa^3, 1/aa^4, 1/aa^5, \ln(aa), \ln(aa^2), \ln(aa^3), \ln(aa^4), \ln(aa^5), \ln(1/aa), \ln(1/aa^2), \ln(1/aa^3), \ln(1/aa^4), \ln(1/aa^5), \sqrt{aa}, \sqrt[3]{aa}, \sqrt[4]{aa}, \sqrt[5]{aa}; dummy$
2	DC	$t, t^2, t^3, t^4, t^5, 1/t, 1/t^2, 1/t^3, 1/t^4, 1/t^5, \ln(t), \ln(t^2), \ln(t^3), \ln(t^4), \ln(t^5), \ln(1/t), \ln(1/t^2), \ln(1/t^3), \ln(1/t^4), \ln(1/t^5), \sqrt{t}, \sqrt[3]{t}, \sqrt[4]{t}, \sqrt[5]{t}; aa, aa^2, aa^3, aa^4, aa^5, 1/aa, 1/aa^2, 1/aa^3, 1/aa^4, 1/aa^5, \ln(aa), \ln(aa^2), \ln(aa^3), \ln(aa^4), \ln(aa^5), \ln(1/aa), \ln(1/aa^2), \ln(1/aa^3), \ln(1/aa^4), \ln(1/aa^5), \sqrt{aa}, \sqrt[3]{aa}, \sqrt[4]{aa}, \sqrt[5]{aa}; dummy$

Onde: DC = diâmetro da copa em metros; d = diâmetro do tronco em centímetros; aa = área por árvore em metros quadrados; t = idade em meses; dummy = 0 para o clone I144 e 1 para o clone VE41. Fonte: o autor, 2023.

A seleção das variáveis a permanecer na equação foi realizada com o SAS *OnDemand for Academics* pelo procedimento REG com a opção *STEPWISE*.

As variáveis com menor R² parcial foram retiradas do modelo até encontrar uma equação com Fatores de Inflação de Variância (FIV) menor do que 3 para cada coeficiente.

A superfície de projeção da copa (SPC) foi calculada em função do diâmetro da copa (DC) pela equação:

$$SPC = \pi \frac{DC^2}{4}$$

Em que: SPC = Superfície de projeção da copa em m²; DC = diâmetro da copa em m.

A Ocupação do terreno pelas Copas em percentagem (OC%) foi calculada pela equação:

$$OC\% = \frac{100 \sum_{i=1}^n SPC_i}{aa}$$

Em que: OC% = Ocupação do terreno pelas Copas em percentagem; SPC_i = Superfície de Projeção da Copia da árvore de ordem i em m²; n = número de árvores da parcela; i = número de ordem da árvore na parcela; aa = área da parcela em m².

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O plantio de *Eucalyptus* do CECA é composto por 450 árvores mensuráveis, que foram medidas em seis ocasiões, tendo-se excluído observações representadas por falhas de plantio, árvores mortas e *outliers* (observações discrepantes), restando um total de 2307 observações válidas para a modelagem.

Considerando-se todas as ocasiões de medição, as médias gerais das árvores para as 2307 observações foram listadas na Tabela 1. É possível observar a variação entre as alturas ao longo das ocasiões observadas, variando de 1,7 m à 28 m, onde a última foi a máxima observada. O valor mínimo encontrado para a DC, refere-se as primeiras observações, em que foram realizadas no plantio jovem sem a possibilidade de ocorrer a formação da copa e portanto o registro se deu como 0.

TABELA 2 – Estatísticas simples das variáveis medidas no experimento de *Eucalyptus* do CECA/UFAL

Variável	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Diâmetro da copa (DC)	2,7	0,65	0,0	5,0
Idade	36,0	15	12,0	55,5
Diâmetro (d)	11,2	4,5	1,2	25,0
Altura (h)	12,6	5,24	1,7	28,0
Área por árvore (aa)	9	2,42	6,0	12,0
Dummy (clone)	0,5	0, 5	0,0	1,0

Fonte: o autor, 2023.

Observa-se na tabela 3 que o valor de r foi significativo entre o diâmetro da copa (DC) e todas as demais variáveis. Entretanto, a correlação não é alta e as variáveis de maior influência no diâmetro da copa são a área por árvore ($r=0,447$) e o diâmetro do tronco ($r=0,414$), seguidos da altura da árvore ($r=0,333$) e idade do povoamento ($r=0,259$); por último ficou o clone ($r=0,088$). De acordo com Trindade (2019), medições em plantios de *Eucalyptus urograndis* anteriores a 59 meses observou-se correlação significativa ($r > 0,75$) entre o diâmetro da copa e área por árvore.

Também, pode ser verificado na tabela 3 que o diâmetro do tronco (d), a altura (h) e a idade (t) apresentam correlação altamente significativa entre si - onde d e h apresentaram $r = 0,823$; d e t apresentaram $r = 0,805$; h com t apresentaram $r = 0,827$ - podendo gerar alta inflação de variância quando num mesmo modelo para estimar o diâmetro da copa, levando a resultados superestimados ou subestimados a depender do modelo. Devido a isso, a equação torna-se não útil para o objetivo que se pretende alcançar. Para Trindade (2019), nos primeiros anos do plantio para espécie

Eucalyptus urograndis, as razões entre o diâmetro da copa e altura total e DC entre diâmetro do tronco tiveram um aumento, seguido de declínio. Para a autora, isso faz parte da adaptação morfométrica para adaptação e rápido crescimento do clone. Já para idade ao longo do tempo, Trindade (2019), observou o comportamento da variabilidade da abrangência do diâmetro da copa referente ao espaçamento.

Em virtude de inventários florestais geralmente serem realizados medindo-se a altura de poucas árvores e estimando-se as demais pelo diâmetro do tronco devido à dificuldade de se alcançar o topo dos indivíduos para coletar a medida conforme adentre as parcelas, estando as duas variáveis altamente correlacionadas ($r = 0,823$); e, também, em função da altura ter apresentado menor correlação com o diâmetro da copa ($r = 0,333$) do que o diâmetro do tronco ($r = 0,414$), neste trabalho decidiu-se por não incluir a variável altura na modelagem do diâmetro da copa. Para Trindade (2019), foi observado uma baixa correlação ($r = -0,003$; $p > 0,05$) entre a altura total e diâmetro da copa em um plantio de *Eucalyptus urograndis* com 59 meses de idade. Segundo Tonini e Arco-Verde (2005), descrevem a desproporção do crescimento da altura em relação ao diâmetro da copa em povoamentos homogêneos de 87 meses de idade para as espécies *Bertolletia excelsa* Humb. & Bonpl., *Carapa guianenses* Aubl., *Tabebuia avellanedae* Lorentz ex Griseb e *Hymenaea courbaril* L.

TABELA 3 - Coeficientes de Correlação de Pearson (r) e Prob $> |r|$ sob $H_0: \text{Rho}=0$ entre as variáveis medidas no experimento de *Eucalyptus* do CECA/UFAL

Variável	Estatística	DC	Idade	d	h	aa	dummy
DC	r	1	0,25858	0,41433	0,33349	0,44692	0,08811
	$> r $		<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001
Idade	r	0,25858	1	0,8055	0,8277	0,02467	-0,00886
	$\text{prob} > r $	<,0001		<,0001	<,0001	0,2363	0,6704
d	r	0,41433	0,8055	1	0,82339	0,16189	-0,13115
	$\text{prob} > r $	<,0001	<,0001		<,0001	<,0001	<,0001
h	r	0,33349	0,8277	0,82339	1	0,04198	-0,03116
	$\text{prob} > r $	<,0001	<,0001	<,0001		0,0438	0,1347
aa	r	0,44692	0,02467	0,16189	0,04198	1	-0,04411
	$\text{prob} > r $	<,0001	0,2363	<,0001	0,0438		0,0341
dummy	r	0,08811	-0,00886	-0,13115	-0,03116	-0,04411	1
	$\text{prob} > r $	<,0001	0,6704	<,0001	0,1347	0,0341	

Fonte: o autor, 2023.

De outro lado, optou-se por separar o diâmetro do tronco e a idade em dois modelos diferentes para depois compará-los. Assim, o modelo 1 é expresso por $DC = f(d, aa, \text{dummy})$; e, o modelo 2, por $DC = f(\text{idade}, aa, \text{dummy})$. De acordo com

Padoin e Finger (2010), buscar entender a relação do diâmetro da copa e o diâmetro do tronco é de suma importância nos estudos de competição em povoamentos florestais. Para Sanquette (2014), ao se realizar a análise de covariância do diâmetro da copa (DC) em relação ao diâmetro a altura do peito (DAP) para a espécie *Acacia mearnsii* De Wild foi observado a interação significativa do fator idade, levando em conta a diferença das relações entre DC e DAP ao longo de 1, 3, 5 e 7 anos.

Após o primeiro processamento com o modelo 1 para seleção das variáveis independentes, obteve-se os resultados apresentados nas Tabelas 4 e 5.

As variáveis selecionadas no modelo 1 e suas estatísticas são apresentadas na Tabela 4. As variáveis $\sqrt[5]{d}$, d^4 e d^5 foram as que apresentaram os menores coeficientes de determinação parcial - $R^2 = 0,0028$; $0,0027$; e $0,0058$ – respectivamente. Sendo assim, não contribuindo para explicar a variação dos dados do modelo 1 proposto. Todas as variáveis retidas no modelo foram altamente significativas pelo teste F, embora a contribuição de algumas para o coeficiente de determinação tenha sido muito pequena.

TABELA 4 – Modelo 1: Resumo da seleção por STEPWISE

Passo	Variável entrada	Número de Variáveis	R ² parcial	R ² do Modelo	F	Pr > F
1	$\sqrt[5]{aa}$	1	0,2010	0,2010	579,9400	<,0001
2	\sqrt{d}	2	0,1197	0,3207	405,8300	<,0001
3	Dummy	3	0,0228	0,3435	79,9100	<,0001
4	d^5	4	0,0058	0,3492	20,3800	<,0001
5	$\ln(d^3)$	5	0,0101	0,3593	36,0900	<,0001
6	d^4	6	0,0027	0,3620	9,8500	0,0017
7	$\sqrt[5]{d}$	7	0,0028	0,3648	10,1400	0,0015

Fonte: o autor, 2023.

Os coeficientes e estatísticas da equação ajustada são apresentados na Tabela 5, onde se observa a alta inflação de variância que algumas variáveis provocam no modelo, levando ao processamento novamente a fim de que seja feita a escolha da variável que cause o menor fator de inflação da variância (FIV).

Sendo que o valor de FIV não deve ultrapassar o valor 10 e alguns autores recomendam até mesmo que fique abaixo de 3 (Biaggi et al. 2017), as variáveis menos significativas foram retiradas do modelo até que os valores ficaram abaixo de 10.

TABELA 5 – Modelo 1: Coeficientes estimados

Coeficiente	Variável	Coeficiente Estimado	Erro Padrão	t	Pr > t	Inflação de Variância (FIV)
b0	Intercepto	-188,05	58,32	-3,22	1,30E-03	0
b1	d^4	5,23E-05	1,21E-05	4,32	<,0001	2.254,4
b2	d^5	-1,56E-06	3,99E-07	-3,91	<,0001	1.016,6
b3	$\ln(d^3)$	-10,47	3,58	-2,92	3,50E-03	233.058,0
b4	\sqrt{d}	-22,60	6,50	-3,48	5,00E-04	190.554,0
b5	$\sqrt[5]{d}$	207,87	65,29	3,18	1,50E-03	814.902,0
b6	$\sqrt[5]{aa}$	3,01	0,13	23,11	<,0001	1,1
b7	Dummy	0,19	0,02	8,75	<,0001	1,0

Fonte: o autor, 2023.

Após sucessivas exclusões de variáveis do modelo 1, obteve-se a Equação 1 que é apresentada nas Tabelas 6 e 7.

A Equação 1 apresentou Syx de 0,52929 (Syx% = 19,6%) e R² de 0,3426 (R²aj = 0,3417).

O Erro Padrão de Estimativas, embora tenha sido médio (19,6%), está dentro do esperado para o tipo de variável estimada, a qual apresenta um alto coeficiente de variação (CV=24,1%). Resultado semelhante de 13% a 28%, foi encontrado por Sanquette (2014) para escolha do modelo proposto por Tonini e Arco Verde (2005) em que descreve a relação entre o DC e o DAP ao longo das idades e dois locais de cultivo para a espécie *Acacia mearnsii* De Wild. Entretanto, o resultado está abaixo dos obtidos por Weber (2007), que observou valores de Syx entre 27,09% e 65,77% para a *Mimosa scrabellae* Benth.

O baixo R² da equação significa que a inclinação da curva de tendências é pequena, indicando que o diâmetro da copa aumenta de forma significativa, mas em pequeno grau com o aumento do diâmetro do tronco e do espaço entre árvores. A equação ajustada apresentou valor de F altamente significativo, sendo adequada para realizar estimativas do diâmetro da copa. O valor encontrado para R² (0,3426) da equação 1 foi inferior ao valor de 0,48 encontrado por Nutto et al. (2001). para o modelo de análise do DC em função do DAP para espécie *Pinus elliottii*, cujo valor de F foi altamente significativo; também para os resultados obtidos por Orellana e Koehler (2008), os quais obtiveram valores de R²aj de 0,58 para a relação do DC com o DAP para *Ocotea odorífera* (Vell.) Rohwere.

Observa-se na tabela 7 que todas as variáveis retidas na Equação 1 são altamente significativas pelo teste t e causam mínima taxa de inflação da variância - em torno de 1 - para as três variáveis independentes, indicando uma correlação fraca entre elas. Com isso, torna a equação apropriada para estimar a variável dependente. O Erro padrão de estimativa para cada coeficiente foi baixo e apresentaram muito alta significância no teste t.

A Equação 1 gerada pela modelagem com o modelo 1 é representada a seguir:

$$DC = -3,32776 + 0,16339 \cdot \ln(d^3) + 3,12492 \cdot \sqrt[5]{aa} + 0,19816 \cdot \text{Dummy}$$

Em que: DC = diâmetro da copa em metros; d = diâmetro do tronco em centímetros; aa = área por árvore em metros quadrados; Dummy = 0 para o clone I144 e 1 para o clone VE41.

TABELA 6 – Equação 1: Análise da variância da regressão

Fonte	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	Pr > F
Modelo	3	336,2381	112,07937	400,07	<,0001
Resíduo	2303	645,18807	0,28015		
Total	2306	981,42616			

Fonte: o autor, 2023.

Os coeficientes da Equação 1 e suas estatísticas são apresentados na Tabela 7.

TABELA 7 – Coeficientes estimados da Equação 1 para descrever o diâmetro da copa de *Eucalyptus*

Coeficiente	Variável	Coeficiente Estimado	Erro Padrão	t	Pr > t	Inflação de Variância
b0	Intercepto	-3,32776	0,20011	-16,63	<,0001	0
b1	$\ln(d^3)$	0,16339	0,00764	21,37	<,0001	1,029
b2	$\sqrt[5]{aa}$	3,12492	0,12844	24,33	<,0001	1,013
b3	Dummy	0,19816	0,02228	8,9	<,0001	1,018

Fonte: o autor, 2023.

As variáveis selecionadas no modelo 2 e suas estatísticas são apresentadas na Tabela 8, onde se observa que no primeiro processamento do modelo 2 foi removida a variável $1/t^2$ que apresentou o valor de R²parcial quase nulo ($R^2 = 0,0002$), mostrando também a sua não significância no teste F, não sendo útil para aplicação no modelo. Todas as variáveis de entrada selecionadas para o modelo são altamente significativas pelo teste F.

TABELA 8 – Modelo 2: Resumo da seleção por STEPWISE

Passo	Variável Entrada	Variável Removida	Número de Variáveis	R ² parcial	R ² do Modelo	F	Pr > F
1	$\sqrt[5]{aa}$		1	0,201	0,201	579,94	<,0001
2	1/t		2	0,0703	0,2713	222,15	<,0001
3	dummy		3	0,0119	0,2832	38,27	<,0001
4	t ⁵		4	0,0048	0,288	15,39	<,0001
5	t ⁴		5	0,014	0,302	46,17	<,0001
6	t ³		6	0,0174	0,3194	58,96	<,0001
7		1/t ²	5	0,0002	0,3192	0,76	0,3822

Fonte: o autor, 2023.

Os coeficientes e estatísticas da equação ajustada com o modelo 2 são apresentados na Tabela 9. A alta inflação de variância induziu à retirada das variáveis t⁴ e t⁵ menos significativas (t = -13,65 e 13,48, respectivamente) do modelo até que os valores ficaram abaixo de 10.

TABELA 9 – Modelo 2: Coeficientes estimados

Coeficiente	Variável	Coeficiente Estimado	Erro Padrão	t	Pr > t	Inflação de Variância
b0	Intercepto	-3,02181	0,20257	-14,92	<,0001	0
b1	t ³	0,0001437	0,00001025	14,02	<,0001	2829,82139
b2	t ⁴	-0,00000557	4,08E-07	-13,65	<,0001	13933
b3	t ⁵	5,52E-08	4,09E-09	13,48	<,0001	4347,76205
b4	$\sqrt[5]{aa}$	3,36186	0,13009	25,84	<,0001	1,00257
b5	dummy	0,14187	0,0225	6,31	<,0001	1,00167

Fonte: o autor, 2023.

Após sucessivas exclusões de variáveis do modelo 2, obteve-se a Equação 2 que é apresentada nas Tabelas 10 e 11. A Equação 2 apresentou Syx de 0,56053 (Syx% = 20,7%) e R² de 0,2627 (R²aj = 0,2617). Os resultados obtidos diferem do encontrado por Sanquette (2014) cujo modelo único foi ajustado para estimativa do DC em função do DAP, para cada um dos dois locais de plantio da espécie *Acacia mearnsii* De Wild, considerando as idades de 1, 3 e 5 anos. Para a equação do primeiro local foi obtido valor do R²aj de 0,7228 e um Syx% de 17,41% e para equação do segundo local foi obtido valor do R²aj de 0,9077 e Syx% de 21,34%.

A Equação 2 apresentou F significativo de acordo com a tabela 10, indicando que é apropriada para estimar o diâmetro da copa.

Todas as variáveis retidas na Equação 2 são altamente significativas pelo teste t e causam mínima inflação da variância, como mostra a tabela 11. Com o fator de inflação da variância em torno de 1 para todas as variáveis independentes, mostra-se que a correlação entre elas é fraca, levando a equação ser apropriada para estimar a variável dependente, diâmetro da copa.

A Equação 2 gerada pela modelagem com o modelo 2 é representada a seguir:

$$DC = -2,71161 + 2,52E-06 \cdot t^3 + 3,36473 \cdot \sqrt[5]{aa} + 0,13945 \cdot Dummy$$

Em que: DC = diâmetro da copa em metros; aa = área por árvore em metros quadrados; t = idade em meses; Dummy = 0 para o clone I144 e 1 para o clone VE41.

TABELA 10 – Equação 2: Análise da variância da regressão

Fonte	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	Pr > F
Modelo	3	257,82645	85,94215	273,53	<,0001
Resíduo	2303	723,59971	0,3142		
Total	2306	981,42616			

Fonte: o autor, 2023.

Os coeficientes da Equação 2 e suas estatísticas são apresentadas na Tabela 11.

TABELA 11 – Coeficientes estimados da Equação 2 para descrever o diâmetro da copa de *Eucalyptus*

Coeficiente	Variável	Coeficiente Estimado	Erro Padrão	t	Pr > t	Inflação de Variância
b0	Intercepto	-2,71161	0,2091	-12,97	<,0001	0
b1	t^3	2,52E-06	2,005E-07	12,56	<,0001	1,001
b2	$\sqrt[5]{aa}$	3,36473	0,13531	24,87	<,0001	1,003
b3	dummy	0,13945	0,0234	5,96	<,0001	1,002

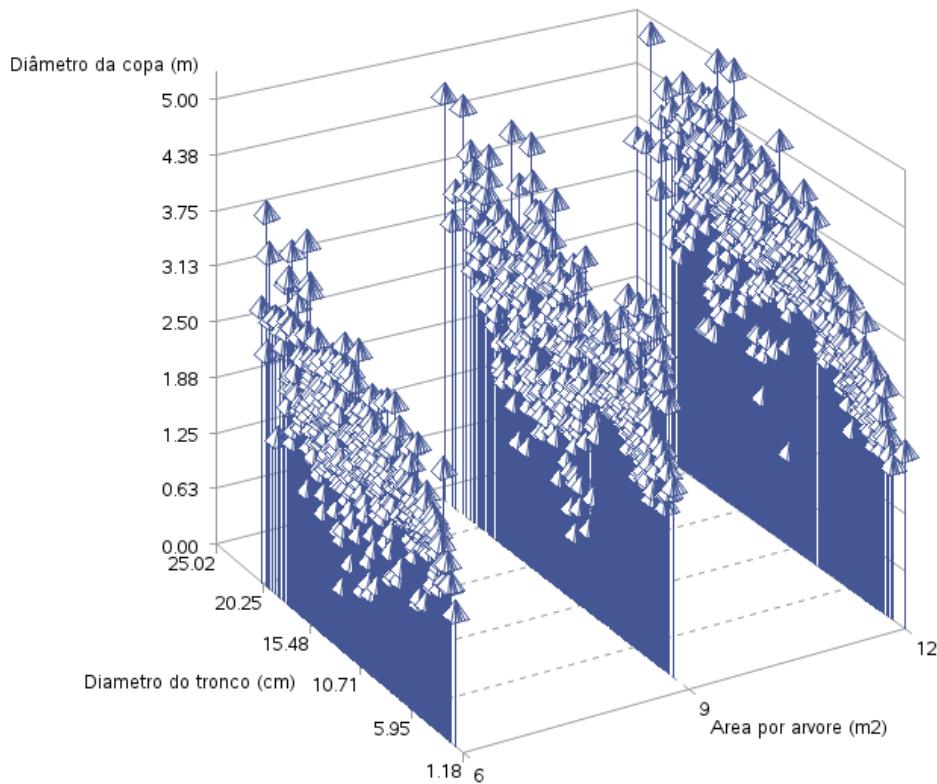
Fonte: o autor, 2023

A Equação 1 é útil para estimar o diâmetro da copa (DC) independentemente de se conhecer a idade do povoamento, enquanto a Equação 2 é útil para fazer prognoses do diâmetro da copa (DC) ao longo do tempo sem conhecimento do diâmetro do tronco. Ambas são úteis, para diferentes objetivos.

Foi construído um gráfico 3d (Figura 2) do diâmetro da copa (DC) com os dados originais usando as variáveis d, aa e clone.

FIGURA 2 – Gráfico do diâmetro da copa (DC) em relação ao diâmetro do tronco (d), área por árvore (aa) e clone, com dados originais sem a aplicação das equações 1 e 2.

Modelagem do diâmetro de copa - DC=f(d, aa, clone)
Gráfico dos dados observados



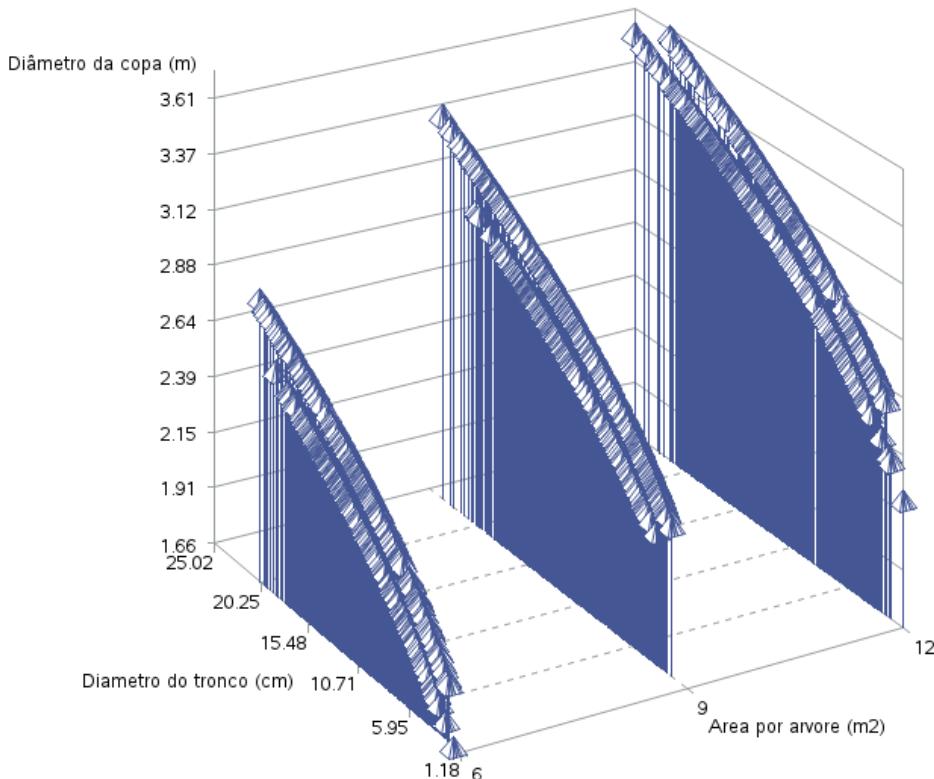
Fonte: o autor, 2023.

Na imagem da Figura 2 não é possível diferenciar os dois clones, mas os resultados apontaram que o clone i144 apresenta diâmetros de copa um pouco menores do que o clone VE41, o que se pode verificar pelo coeficiente de regressão positivo que multiplica o valor do clone que é 0 para o clone I144 e 1 para o clone VE41.

Com a Equação 1, foi construído o gráfico da Figura 3.

FIGURA 3 – Gráfico 3d construído com a Equação 1, ajustada para descrever o diâmetro da copa (DC) em função do diâmetro do tronco (d), da área por árvore (aa) e do clone.

Modelagem do diâmetro de copa - DC=f(d, aa, clone)
Gráfico das estimativas - DC=f(d, aa, clone)



Fonte: o autor, 2023.

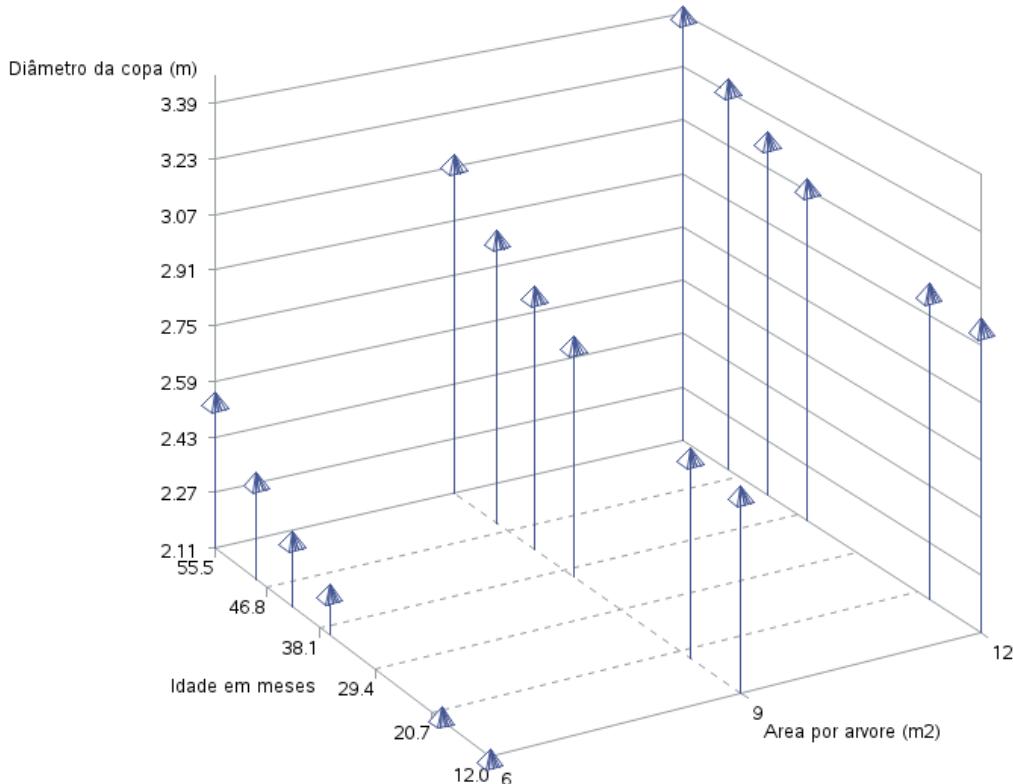
Na Figura 3 observa-se dois grupos em cada área por árvore, representados pelo clone I144, um pouco menor, e pelo clone VE41, levemente maior à direita em cada área por árvore.

O gráfico da Figura 4 foi construído com a Equação 2, mostrando a evolução do diâmetro da copa (DC) ao longo do tempo em cada área por árvore (aa). Percebe-se que maior área por árvore permite maior amplitude do diâmetro das copas, desde o primeiro ano de idade.

Na Figura 4 não há diferenciação em relação aos clones, ou seja, há pouca diferença entre os diâmetros da copa entre os dois clones numa mesma idade.

FIGURA 4 – Gráfico 3d construído com a Equação 2, resultante do modelo 2, para descrever o diâmetro da copa (DC) em função da idade em meses (t), da área por árvore (aa) e do clone (Dummy)

Modelagem do diâmetro de copa - DC=f(Idade, aa, clone)
Gráfico das estimativas - CD=f(Idade, aa, clone)



Fonte: o autor, 2023.

Sendo o espaçamento entre árvores do povoamento retangular, considera-se como máximo de ocupação da projeção das copas sobre o solo a razão de $\pi/4$ que é semelhante a 0,7854, ou 78,54% de ocupação do terreno.

A ocupação do terreno pela superfície de Projeção das Copas (SPC) ocorrida no experimento é representada na Tabela 12.

O que se observa na Tabela 12 é que os maiores espaçamentos permitiram maior crescimento às copas, o que ocorreu proporcionalmente com o aumento do espaço disponível, o que vai de encontro ao gráfico da Figura 4, onde o diâmetro das copas (DC) cresce exponencialmente quanto maior o espaço entre árvores.

TABELA 12 – Projeção da ocupação do solo pela superfície de projeção das copas (SPC) de *Eucalyptus urograndis*, sob 3 espaçamentos, aos 55 meses de idade.

Clone	Área por árvore (m ²)	Idade (meses)	d (cm)	h (m)	DC (m)	SPC	Ocupação das copas (%)
I144	6	12,0	5,10	4,76	2,15	90,76	60,5
I144	6	19,2	7,14	8,83	2,36	109,36	72,9
I144	6	36,6	11,76	13,36	2,43	115,94	77,3
I144	6	42,6	12,50	15,01	2,54	126,68	84,5
I144	6	48,5	12,92	14,13	1,95	74,66	49,8
I144	6	55,5	13,92	16,95	2,37	110,29	73,5
I144	9	12,0	5,16	4,63	2,33	106,60	47,4
I144	9	19,2	7,58	9,11	2,78	151,75	67,4
I144	9	36,6	13,21	13,90	2,78	151,75	67,4
I144	9	42,6	13,81	16,49	3,00	176,71	78,5
I144	9	48,5	14,51	15,49	2,15	90,76	40,3
I144	9	55,5	15,25	17,18	2,97	173,20	77,0
I144	12	12,0	4,76	4,21	2,37	110,29	36,8
I144	12	19,2	7,78	9,01	2,78	151,75	50,6
I144	12	36,6	14,62	14,07	2,98	174,37	58,1
I144	12	42,6	15,76	14,78	3,52	243,28	81,1
I144	12	48,5	16,71	16,36	2,85	159,48	53,2
I144	12	55,5	17,44	19,84	3,43	231,00	77,0
VE41	6	12,0	4,92	4,74	2,19	94,17	62,8
VE41	6	19,2	7,02	9,45	2,59	131,71	87,8
VE41	6	36,6	10,91	14,99	2,16	91,61	61,1
VE41	6	42,6	11,54	16,98	2,68	141,03	94,0
VE41	6	48,5	12,31	13,41	2,14	89,92	59,9
VE41	6	55,5	13,69	15,93	2,71	144,20	96,1
VE41	9	12,0	5,00	4,75	2,56	128,68	57,2
VE41	9	19,2	7,47	9,06	2,73	146,34	65,0
VE41	9	36,6	12,56	13,88	2,66	138,93	61,7
VE41	9	42,6	10,55	15,94	3,04	181,46	80,6
VE41	9	48,5	14,61	14,55	2,58	130,70	58,1
VE41	9	55,5	15,96	17,13	3,69	267,35	118,8
VE41	12	12,0	4,54	4,60	2,42	114,99	38,3
VE41	12	19,2	6,89	8,10	2,85	159,48	53,2
VE41	12	36,6	12,22	12,86	3,40	226,98	75,7
VE41	12	42,6	13,42	15,39	4,02	317,31	105,8
VE41	12	48,5	14,14	16,57	2,99	175,54	58,5
VE41	12	55,5	15,70	18,43	3,55	247,45	82,5

Fonte: o autor, 2023.

Inferiu-se para o clone I144, que sua maior porcentagem de ocupação do espaço pelas copas sob os três espaçamentos de 6, 9 e 12 m² ao logo do período inventariado se deu para a idade de 42,6 meses, quando apresentaram 84,5%, 78,5% e 81,1%, respectivamente. Para o clone VE41 observou-se, na idade de 55,5 meses para os espaçamentos 6 e 9 m², os maiores valores de superfície ocupados pelas copas com

96,1% e 118,8%, exceto para o espaçamento de 12 m², onde aos 42,6 meses apresentou a maior porcentagem, 105,8%, não apresentando o mesmo padrão do clone I144. Há pequena diferença no comportamento dos dois clones quanto a ocupação do espaço por suas copas, mas que seria necessário ser avaliado mais a fundo por estudos que complemente essas observações.

Ambos clones deste estudo apresentam forte desrama natural e nas idades mais jovens os galhos apresentam-se mais grossos e longos do que nas idades mais avançadas, o que parece ser a causa da redução na ocupação do espaço pelas copas das árvores mais velhas.

O clone I144 apresenta diâmetros do tronco (d) proporcionalmente maiores e diâmetro das copas menores comparando com os do clone VE41, o que pode indicar uma maior eficiência do primeiro quanto ao uso do solo, mas não se estudou este fato estatisticamente, o que pode ser objeto de estudo complementar no futuro.

5 CONCLUSÕES

Em geral, os modelos das equações obtidas para se estimar o diâmetro da copa em dois clones de *Eucalyptus urograndis* apresentaram resultados significativos quando submetidos à análise de variância da regressão. Para mais, as equações foram de simples aplicação, pois apresentaram variáveis diâmetro do tronco (d) e idade (t) como preditoras, ou seja, menos susceptíveis a erros.

Em ambos os casos as equações obtidas apresentaram estatísticas de qualidade suficiente para estimar os diâmetros das copas (DC).

Os gráficos 3d de comparação dos clones I144 e VE41 mostraram uma leve diferença no diâmetro da copa tanto ao longo do tempo quanto com relação ao diâmetro do tronco. No entanto, a área entre árvores (aa) revelou uma grande diferença, conforme maior espaçamento, proporcionando mais espaço disponível para seu desenvolvimento.

A área de projeção das copas e percentagem de cobertura do solo parecem aumentar até um certo limite, quando passam a ser reduzidas, alcançando os maiores índices de cobertura aos 42 meses de idade em grande parte dos tratamentos, sendo que somente ultrapassou os 100% de cobertura com o clone VE41.

REFERÊNCIAS

ABIMCI. Site Institucional da Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente. Disponível em: <<http://www.abimci.com.br/>>. Acesso em: 29/07/2005.

ASSMANN, E. The Principles of Forest Yield Study. **Oxford: Pergamon Press**, 1961.

BIAGGI, M. L. S. et al. **FATOR DE INFLAÇÃO DA VARIÂNCIA E REGRESSÕES AUXILIARES PARA DIAGNÓSTICO DO PROBLEMA DE MULTICOLINEARIDADE NOS MODELOS DE REGRESSÃO**. In: XIX COBREAP - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS, XIX., 2017, Foz do Iguaçu. Congresso. Foz do Iguaçu: Ibade, 2017. p. 1-25.

COSTA, E. A.; FINGER, C. A. G.; FLEIG, F. D. Influência da posição social nas relações morfométricas de Araucaria angustifolia. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 225-234, 2016.

DURLO, M. A.; DENARDI, L. Morfometria de Cabralea canjerana, em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 55-66, 1998.

DURLO, M. A.; SUTILI, F. J.; DENARDI, L. Modelagem da copa de Cedrela fissilis Vellozo. **Ciência florestal**, v. 14, p. 79-89, 2004.

EMBRAPA. **Importância do setor florestal brasileiro com ênfase nas plantações florestais comerciais**, 2017. Disponível em:< <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1076139/importancia-do-setor-florestal-brasileiro-com-enfase-nas-plantacoes-florestais-comerciais>>. Acesso em: 20 ago.2023.

FLORIANO, E. P. **Modelos Florestais**. Rio Largo: ed. Do Autor, 2022. 241 p.

FLORIANO, E. P. **Potencialidades de produção florestal em Alagoas**. Rio Largo, ed. Do Autor, 2018.

FONTAN, I. C. I.. **Crown dynamics and growth on eucalypt clones stands submitted to artificial pruning in an agroforestry system**. 2007. 80 f. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal; Meio Ambiente e Conservação da Natureza; Silvicultura; Tecnologia e Utilização de) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

FREUND, R. J.; LITTELL, R. C.; SPECTOR, P. C. **SAS System for linear models**. Cary: SAS Institute, 1986.

LEÃO, T. D. S., et al. Ajuste de modelos para estimativa do diâmetro de copa em uma área de reflorestamento misto na Mata Atlântica. **Rev. Bras. Biom.**, Lavras, v.35, n.3, p.523-536, 2017

MARTINS, F. B.; SOARES, C. P. B.; LEITE, H. G.; SOUZA, A. L.; CASTRO, R. V. O. Índices de competição em árvores individuais de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.L.], v. 46, n. 9, p. 1089-1098, set. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2011000900017>.

MELO, Antônio Carlos Galvão de; MIRANDA, Dirceu Lúcio Carneiro de; DURIGAN, Giselda. Cobertura de copas como indicador de desenvolvimento estrutural de reflorestamentos de restauração de matas ciliares no Médio Vale do Paranapanema, SP, Brasil. **Revista Árvore**, v. 31, p. 321-328, 2007.

NUTTO L, TONINI H, BORSOI GA, MOSCOVICH FA, SPATHELF P. **Utilização dos parâmetros da copa para avaliar o espaço vital em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm.** Colombo: Embrapa; 2001.

NUTTO, L. Manejo do crescimento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. baseado na árvore individual. **Ciência florestal**; 2001: 9-25.

OLIVEIRA, Y. M. M. de; OLIVEIRA, E. B. de (Ed.). **Plantações florestais: geração de benefícios com baixo impacto ambiental.** Brasília, DF : Embrapa, Cap.1, 2017.

OLIVEIRA, Y. M. M.; OLIVEIRA, E. B. **As florestas plantadas e sua importância no contexto econômico e socioambiental do Brasil.** In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 4., 2018, Ribeirão Preto. Anais [...]. Ribeirão Preto: Embrapa, 2018. p. 435-439. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1092385/as-florestas-plantadas-e-sua-importancia-no-contexto-economico-e-socioambiental-do-brasil>. Acesso em: 20 ago. 2023.

ORELLANA, E.; KOEHLER, A. B. Relações morfométricas de *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 229-237, 2008.

PADOIN, V.; FINGER, C. A. G. Relações entre as dimensões da copa e a altura das árvores dominantes em povoamentos de *Pinus taeda* L. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n.1, p. 95-105, 2010.

ROMAN, M.; BRESSAN, D. A.; DURLO, M. A. Variáveis morfométricas e relações Interdimensionais para *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. Ex Steud. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.19, n.4, p.473-480, 2009.

SANQUETTA, C. R., et al. A. Equações para estimativa do diâmetro de copa para Acácia-negra. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.21, n.2, p. 192-205, 2014.

SANTOS, C. V. F. **Caracterização físico-mecânica de elementos estruturais roliços perfilados de amaru.** Trabalho de conclusão de curso - (Graduação em de Engenharia Industrial Madeireira). Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Itapeva, p. 68. 2013.

SANTOS, Felipe Martini. **MODELAGEM DA FITOMASSA AÉREA DE *Eucalyptus urograndis* E *Acacia mangium* Willd. EM PLANTIOS PUROS E CONSORCIADOS.** 2012. 28 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Florestal, Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2012. Disponível em: http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/8936/2012_1_Felipe-Martini-Santos.pdf?sequence=1. Acesso em: 04 abr. 2023.

SANTOS, M. J. C.; SANTOS, F. R.; RIBEIRO, M. J. B. Parâmetros Interdimensionais de Clones de Eucalipto em Sistema Silvipastoril na Região Semiárido. **Cadernos de Agroecologia**, v. 9, n. 4, 2014.

SEIDEL, D.; RUZICKA, K.; PUETTMANN, K. Canopy gaps the shade of Douglas-fir crowns in the western Cascades, Oregon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 363, p. 31-38, 2016.

STERBA, H. **Forstliche Ertragslehre**. Heft 4. Wien: Universität für Bodenkultur, Institut für Waldwachstumsforschung, 1991.

TONINI, H. et al. Relação da produção de sementes de castanha-do-brasil com características morfométricas da copa e índice de competição. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 11, p. 1509-1516, 2008.

TONINI, H. **Índice de competição e o seu uso na modelagem do crescimento das Árvores**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2007.

TONINI, H. **Índices de competição e o seu uso na modelagem do crescimento de árvores**. Embrapa: 2007. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/689379>. Acesso em: 03 ago. 2023.

TONINI, H.; ARCO-VERDE, M. F. Morfologia da copa para avaliar o espaço vital de quatro espécies nativas da Amazônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 7, p. 633-638, 2005.

TONINI, H.; ARCO-VERDE, M.F. Morfologia da copa para avaliar o espaço vital de quatro espécies nativas da Amazônia. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.40, n.7, p.633-638, jul. 2005.

TRINDADE, R. N. R. et al. Morfometria da copa de povoamento de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden x *E. urophylla* ST Blake em diferentes espaçamentos de plantio. **Sci Forest**, v. 47, n. 121, p. 83-91, 2019.

VITAL, M. H. F. Impacto ambiental de florestas de eucalipto. **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 28 , p. [235]-275, dez. 2007.

WEBER K. S. **Manejo da bracatinga (*Mimosa scrabella Benth.*) baseado no crescimento diamétrico de árvores individuais**. [dissertação]. Curitiba: Universidade Federal do Paraná; 2007.