

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

LAURA VIEIRA XAVIER

**MÉTODOS DE CONSTRUÇÃO DE CURVAS DE SÍTIO E SUAS IMPLICAÇÕES NA
PROGNOSE DA PRODUÇÃO DE POVOAMENTOS DE *Eucalyptus* sp.**

**MONTE CARMELO
2022**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

LAURA VIEIRA XAVIER

**MÉTODOS DE CONSTRUÇÃO DE CURVAS DE SÍTIO E SUAS IMPLICAÇÕES NA
PROGNOSE DA PRODUÇÃO DE POVOAMENTOS DE *Eucalyptus* sp.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Florestal, Campus Monte Carmelo, da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Otávio Veiga de Miranda

**MONTE CARMELO
2022**

LAURA VIEIRA XAVIER

**MÉTODOS DE CONSTRUÇÃO DE CURVAS DE SÍTIO E SUAS IMPLICAÇÕES NA
PROGNOSE DA PRODUÇÃO DE POVOAMENTOS DE *Eucalyptus* sp.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Florestal, Campus Monte Carmelo, da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Florestal.

Monte Carmelo, 18 de março de 2022.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Rodrigo Otávio Veiga de Miranda
Orientador

Prof.^a. Dr.^a. Renata Reis de Carvalho
Membro da Banca

Prof. Dr. Alvaro Augusto Vieira Soares
Membro da Banca

**MONTE CARMELO
2022**

AGRADECIMENTOS

A Deus, acima de tudo, por estar ao meu lado, guiando meus passos, me protegendo nessa jornada e dando-me sabedoria e paciência para concretização de mais uma etapa em minha vida.

Ao meu Filho, minha razão de viver, meu porto seguro e fonte de amparo incondicional.

A minha família, o alicerce da minha formação pessoal, por sempre me incentivarem e apoiarem.

Ao meu namorado Gabriel, pelo companheirismo, paciência e pela força em todos os momentos bons e ruins.

Aos meus amigos e futuros colegas de profissão pelos momentos de descontração, auxílios imprescindíveis e tornar essa rotina mais amena.

À Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo, pela oportunidade de realizar o curso.

A todos os professores e funcionários que estiveram comigo nessa caminhada, agradeço pelo conhecimento adquirido e amizade.

Aos membros da banca de avaliação, por aceitarem meu pedido.

Ao professor Gilberto de Oliveira Mendes, quem me abriu as portas a vida acadêmica e que embora não faça parte deste trabalho, muito contribuí para meu crescimento profissional e pessoal durante a graduação.

Agradeço imensamente ao meu orientador Rodrigo, pela ajuda, orientação, conselhos, pela admirável paciência e por contribuir para minha formação profissional e pessoal. Sem dúvidas é uma das minhas referências profissionais. Sem ele esse trabalho não seria possível.

E por fim a todos que contribuíram direta ou indiretamente por mais essa conquista.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Modelos testados para a relação de altura dominante e idade, para plantios de híbridos de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Eucalyptus urophylla</i> localizados na região nordeste do estado da Bahia	5
Tabela 2 Modelos testados para estimar altura dominante em função da idade com seus respectivos coeficientes e estatísticas de qualidade de ajuste, para plantios clonais de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Eucalyptus urophylla</i> da região Nordeste da Bahia.....	9
Tabela 3. Modelos utilizados para estabelecer a relação entre os coeficientes do modelo de Chapman-Richards e o índice de sítio para o método da predição dos parâmetros para plantios clonais de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Eucalyptus urophylla</i> da região Nordeste da Bahia	11
Tabela 4. Limites de altura dominante para as classes de sítios I, II, III e IV definidos pelo método da curva-guia para a classificação da capacidade produtiva de plantios clonais de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Eucalyptus urophylla</i> da região Nordeste da Bahia.....	12
Tabela 5. Limites de altura dominante para as classes de sítios I, II, III e IV definidos pelo método das equações das diferenças para curvas anamórficas para a classificação da capacidade produtiva de plantios clonais de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Eucalyptus urophylla</i> da região Nordeste da Bahia	12
Tabela 6. Limites de altura dominante para as classes de sítios I, II, III e IV definidos pelo método das equações das diferenças para curvas polimórficas para a classificação da capacidade produtiva de plantios clonais de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Eucalyptus urophylla</i> da região Nordeste da Bahia	13
Tabela 7. Limites de altura dominante para as classes de sítios I, II, III e IV definidos pelo método da predição dos parâmetros para a classificação da capacidade produtiva de plantios clonais de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Eucalyptus urophylla</i> da região Nordeste da Bahia.....	13
Tabela 8. Coeficientes e estatísticas de avaliação do ajuste para o modelo de Clutter, para cada método de construção de curvas de sítio, para plantios clonais de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Eucalyptus urophylla</i> da região Nordeste da Bahia	16
Tabela 9. Idade técnica de corte, incremento médio anual e valores de produção volumétrica para diferentes métodos de construção de curvas de índice de sítio, para plantios clonais de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Eucalyptus urophylla</i> da região Nordeste da Bahia	20
Tabela 10. Produção em volume ($m^3 ha\ mês^{-1}$) e área basal ($m^2 ha^{-1}$) por classe de sítio pelo método da curva-guia, para plantios clonais de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Eucalyptus urophylla</i> da região Nordeste da Bahia.....	28
Tabela 11. Produção em volume ($m^3 ha\ mês^{-1}$) e área basal ($m^2 ha^{-1}$) por classe de sítio pelo método da equações da diferenças para curvas anamórficas, para plantios clonais de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Eucalyptus urophylla</i> da região Nordeste da Bahia	30
Tabela 12. Produção em volume ($m^3 ha\ mês^{-1}$) e área basal ($m^2 ha^{-1}$) por classe de sítio pelo método da da equações da diferenças para curvas polimórficas, para plantios clonais de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Eucalyptus urophylla</i> da região Nordeste da Bahia	32
Tabela 13. Produção em volume ($m^3 ha\ mês^{-1}$) e área basal ($m^2 ha^{-1}$) por classe de sítio pelo método da predição dos parâmetros, para plantios clonais de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Eucalyptus urophylla</i> da região Nordeste da Bahia.....	34
Tabela 14. Equações finais ajustadas para diferentes métodos de construção de curvas de índice de sítio, para plantios clonais de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Eucalyptus urophylla</i> da região Nordeste da Bahia	36

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribuição de resíduos para os modelos de Schumacher (a), Chapman - Richards (b), Clutter - Jones (c) e Mitscherlich (d) para a estimativa de altura dominante em plantios clonais de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Eucalyptus urophylla</i> da região Nordeste da Bahia.....	10
Figura 2. Curvas de índice de sítio construídas pelo modelo de Chapman-Richards para o método da curva-guia (a), equação das diferenças para curvas anamórficas (b), equação das diferenças para curvas polimórficas (c) e predição de parâmetros (d), para plantios clonais de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Eucalyptus urophylla</i> da região Nordeste da Bahia.....	14
Figura 3. Dispersão dos resíduos para a equação de área basal do modelo de Clutter para os métodos de construção de curvas de sítio, para plantios clonais de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Eucalyptus urophylla</i> da região Nordeste da Bahia.	17
Figura 4. Dispersão dos resíduos para a equação de área basal do modelo de Clutter para o método da curva-guia (a), equação das diferenças para curvas anamórficas (b), equação das diferenças para curvas polimórficas (c) e predição de parâmetros (d), para plantios clonais de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Eucalyptus urophylla</i> da região Nordeste da Bahia.....	18
Figura 5. Curvas de incremento médio e corrente mensal (a) e curvas de produção (b) para o método da curva-guia de plantios clonais de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Eucalyptus urophylla</i> da região Nordeste da Bahia.....	21
Figura 6. Curvas de incremento médio e corrente mensal (a) e curvas de produção (b) para o método da equação das diferenças para curvas anamórficas de plantios clonais de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Eucalyptus urophylla</i> da região Nordeste da Bahia.....	21
Figura 7. Curvas de incremento médio e corrente mensal (a) e curvas de produção (b) para o método da equação das diferenças para curvas polimórficas de plantios clonais de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Eucalyptus urophylla</i> da região Nordeste da Bahia.....	22
Figura 8. Curvas de incremento médio e corrente mensal (a) e curvas de produção (b) para o método da predição dos parâmetros de plantios clonais de <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Eucalyptus urophylla</i> da região Nordeste da Bahia.	22

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo geral.....	3
2.2 Objetivo específico.....	3
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	4
3.1 Caracterização da área e detalhamento dos dados.....	4
3.2 Relação altura dominante e idade.....	4
3.2 Determinação da capacidade produtiva.....	5
3.2.1 Método da curva-guia.....	5
3.2.2 Método da equação das diferenças.....	6
3.2.3 Método da predição dos parâmetros.....	6
3.3 Modelagem da produção.....	7
3.4 Estatísticas de avaliação dos modelos.....	7
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	9
5 CONCLUSÃO.....	23
REFERÊNCIAS.....	24
ANEXOS/APÊNDICE.....	28

1 INTRODUÇÃO

Os plantios florestais exercem papel fundamental na proteção das florestas nativas. Devido ao rápido crescimento e diversidade quanto ao seu uso madeireiro e não-madeireiro, estes plantios representam uma opção ao setor florestal, suprimindo a demanda de matéria-prima e, por consequência, reduzindo a exploração de florestas naturais (EMBRAPA, 2016).

O Brasil detém 9,55 milhões de hectares de árvores plantadas, em que este setor representa 0,9% do PIB Nacional (RS12,01 bilhões), em decorrência da alta produtividade dos plantios. Dentre os plantios, o gênero *Eucalyptus* se destaca, abrangendo a maior área plantada no país com 7,47 milhões de hectares (78%) (IBÁ, 2021).

O clima tropical ou subtropical na maioria do território brasileiro permite um crescimento ininterrupto da espécie. Desta forma, há condição propícia para um rápido acúmulo de biomassa com rotações de 5 a 7 anos em média, enquanto em alguns países de clima temperado as rotações se situam próximas de 12 anos (SOARES, 2002).

Devido ao rápido crescimento e à adaptabilidade do eucalipto às diversas condições ambientais, é necessário utilizar mecanismos que proporcionem o adequado gerenciamento da produção florestal. Para isso, são utilizadas técnicas estatísticas que permitem obter estimativas de diversas variáveis de interesse, seja para árvores individuais ou para o povoamento.

No processo de gerenciamento florestal, é essencial o conhecimento da produção ao longo do tempo e, ou em idades específicas. Em geral, as estimativas de produção volumétrica do povoamento florestal são obtidas por modelos de crescimento e produção. Estes modelos requerem uma série de informações para sua efetiva aplicação, dentre essas o conhecimento do potencial produtivo do local, expressa pelo sítio.

O conhecimento quantitativo do potencial do sítio para uma espécie é um dos principais instrumentos para a administração de plantios florestais comerciais. Além disso, representa variável fundamental na modelagem do crescimento e da produção, auxiliando no processo de tomada de decisões para o manejo florestal, proporcionando avaliar o comportamento do povoamento diante de várias condições de manejos (SCHNEIDER; SCHENEIDER, 2008) e facilitar o planejamento de podas, desbastes, definição da rotação técnica e econômica, práticas de fertilização e correção do solo, estimativas, diagnósticos e prognoses de produção (CAMPOS; LEITE, 2017).

Campos e Leite (2017) definem a capacidade produtiva do local ou do sítio como o potencial de um determinado local para a produção de madeira ou outro produto florestal, para uma determinada espécie ou clone. A influência para essa qualidade vem da somatória dos aspectos climáticos e edáficos do local.

Em geral, há duas formas de classificação e avaliação de sítios florestais, chamadas de fitocêntricas e geocêntricas (VANCLAY, 1992). As técnicas fitocêntricas são baseadas em características da vegetação, da floresta ou das árvores que as compõem. As características geocêntricas se limitam a aspectos físicos do sítio, tais como o clima, solo, pluviosidade, formação geológica (SKOVSGAARD; VANCLAY, 2008).

Além dessa classificação, o sítio pode ser determinado por métodos indiretos e diretos. Os métodos indiretos são baseados em fatores climáticos, edáficos, fisiográficos, vegetação indicadora, registros da área e elementos dendrométricos (SCOLFORO, 1993). A determinação da capacidade produtiva por meio dos métodos diretos é realizada a partir de informações sobre a produtividade em área basal ou volume, ou pela relação da idade e da altura dominante, definindo índice de sítio (MIRANDA et al., 2021)

A classificação a partir da média das alturas dominantes tem sido considerada a forma mais prática e usual, especialmente pelo fato de esta variável não ser influenciada por desbastes e não ser afetada pela densidade do povoamento. Para determinação do índice de sítio, são empregados modelos estatísticos que representam a relação altura-idade, a partir da qual gera-se uma família de curvas, denominadas “curvas de sítio”, as quais correspondem à taxa de crescimento em altura dominante em cada sítio, sendo que as curvas podem ser então, classificadas quanto à forma em anamórficas ou harmônicas e polimórficas ou naturais (CLUTTER et al., 1983).

Segundo Scolforo (1997), as curvas anamórficas são caracterizadas por apresentarem taxa constante de crescimento relativo à altura para qualquer sítio. Por outro lado, para as curvas polimórficas, a taxa de crescimento relativo à altura depende dos fatores do sítio, visto que mostram padrões diferentes de crescimento para as diferentes classes de sítio. As curvas anamórficas são as mais empregadas, porém, alguns autores questionam que essas curvas podem não representar a real tendência do crescimento de um povoamento, devido à aceitação de que as árvores possuem mesma taxa de crescimento nos diferentes sítios ao longo de um ciclo (SCAVINSKI, 2014).

Há diversos métodos para construir curvas de índice de sítio, como método da curva-guia, equação das diferenças ou diferença algébrica, Hammer e predição de parâmetros. Todavia, um

dos mais empregados é o método da curva-guia, possuindo uma melhor aplicabilidade com resultados satisfatórios para florestas plantadas de eucalipto (MIGUEL et al., 2011; PEGO; ASSIS; CABACINHA, 2015; RETSLAFF et al., 2015; SILVA, 2017). Contudo, por meio do método da curva-guia somente é possível a construção de curvas anamórficas, as quais podem não retratar adequadamente o padrão de crescimento do plantio.

Como mencionado, o sítio é variável fundamental na modelagem florestal. Os modelos de crescimento e produção admitem simular a dinâmica natural de um povoamento e prever sua produção ao longo do tempo, em diferentes alternativas de manejo (VANCLAY, 1994). Dentre os diferentes modelos de crescimento e produção, o principal e mais empregado no Brasil é o de Clutter (1963) (DIAS et al., 2005). Esse modelo apresenta um sistema de equações, em que a produção é expressa em função das idades atuais e futuras, do índice de sítio na idade atual e das áreas basais atuais e futuras (CAMPOS; LEITE, 2017).

Sabendo da influência expressiva da variável sítio na modelagem florestal, torna-se válida a avaliação da produção florestal com índices de sítio obtidos por diferentes métodos. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do índice de sítio obtido por diferentes métodos na produção volumétrica de povoamentos clonais de *Eucalyptus* sp.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Objetivo geral deste trabalho é a avaliação do efeito do índice de sítio nas estimativas de produção volumétrica de povoamentos de *Eucalyptus* sp.

2.2 Objetivo específico

- Obtenção do índice de sítio por parcela por meio do método da curva-guia;
- Obtenção do índice de sítio por parcela por meio do método da equação das diferenças para curvas anamórficas;
- Obtenção do índice de sítio por parcela por meio do método da equação das diferenças para curvas polimórficas;

- Obtenção do índice de sítio por parcela por meio do método da predição dos parâmetros;
- Ajuste de um modelo de crescimento e produção em nível de povoamento para cada método de obtenção do sítio em estudo;
- Avaliar a compatibilidade estatística das estimativas de produção para cada método de obtenção do sítio em estudo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área e detalhamento dos dados

Neste estudo, informações de 167 unidades amostrais permanentes foram utilizadas, provenientes de inventário florestal contínuo com repetição total, conduzidos em plantios de híbridos de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, com área útil por planta de 9 m², localizada na região nordeste do estado da Bahia.

As unidades amostrais permanentes admitiram forma circular, com raio de 12,25 m (471,44 m²) e idades variando de 27 a 78 meses. Estas unidades foram distribuídas sistematicamente atendendo a uma intensidade amostral preestabelecida de uma unidade amostral a cada 12,5 ha, medidas em um intervalo de quatro anos. Em cada unidade amostral, os diâmetros à 1,30 m do solo (d) com casca de todas as árvores e a altura total (h) das 15 primeiras árvores foram medidos, além da altura dominante (h_{dom}), conforme a metodologia proposta por Assmann (1970), correspondendo à média das alturas das 100 árvores mais grossas por hectare.

3.2 Relação altura dominante e idade

Para representar e estimar a relação da altura dominante e idade, 668 pares de altura dominante e idade foram utilizados, oriundos das 167 unidades amostrais mencionadas, em que cada uma foi medida em quatro ocasiões. Esses dados foram utilizados no ajuste dos modelos apresentados na Tabela 1 pelo método de levenberg-marquardt por meio do software gretl (RETSLAFF, 2015; SILVA, 2020).

Tabela 1 Modelos testados para a relação de altura dominante e idade, para plantios de híbridos de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* localizados na região nordeste do estado da Bahia

Autor / Fonte	Modelo	Modelo Guia	Nº. Modelo
Schumacher	$h_{dom} = \beta_0 e^{\left(\frac{\beta_1}{I}\right)} \varepsilon_i$	$h_{dom} = S e^{\beta_1 \left(\frac{1}{I} - \frac{1}{I_i}\right)}$	(1)
Chapman - Richards	$h_{dom} = \beta_0 \left[1 - e^{(-\beta_1 I)}\right]^{\beta_2} \varepsilon_i$	$h_{dom} = S \left[\frac{1 - e^{(-\beta_1 I)}}{1 - e^{(-\beta_1 I_i)}}\right]^{\beta_2}$	(2)
Clutter - Jones	$h_{dom} = \beta_0 \left[1 + \beta_1 I^{\beta_2}\right]^{\beta_3} \varepsilon_i$	$h_{dom} = S \left[\frac{1 + \beta_1 I^{\beta_2}}{1 + \beta_1 I_i^{\beta_2}}\right]^{\beta_3}$	(3)
Mitscherlich	$h_{dom} = \beta_0 - \beta_1 \beta_2^I \varepsilon_i$	$h_{dom} = S - \beta_1 \left(\beta_2^I - \beta_2^{I_i}\right)$	(4)

Sendo: h_{dom} = altura dominante da unidade amostral (m); I = Idade do povoamento (meses); S = índice de sítio por parcela (m); e = base do logaritmo neperiano; β_i = parâmetros a serem estimados; ε_i = erro aleatório.

3.2 Determinação da capacidade produtiva

A classificação da capacidade produtiva foi realizada por meio de quatro métodos: curva-guia (CG), equação das diferenças e predição dos parâmetros (PP). Para o método da equação das diferenças foram considerados dois procedimentos, em que um foi utilizado para a construção de curvas anamórficas (EDCA) e o outro para curvas polimórficas (EDCP). Os procedimentos realizados, para cada método, estão descritos a seguir. A idade-índice considerada foi de 72 meses.

3.2.1 Método da curva-guia

Para a realização do método da curva-guia, o primeiro passo consistiu na seleção do modelo (Tabela 1) mais adequado para descrever a tendência da altura dominante com a idade. O modelo selecionado gerou a curva média dessa relação, denominada de curva-guia. Em seguida, foi

aplicado a condição de que, quando a idade (I) do povoamento fosse igual à idade-índice (I_i), a altura dominante foi igual ao índice de sítio ($h_{\text{dom}} = S \leftrightarrow I = I_i$).

Seguindo essas considerações, a equação resultante possuiu a mesma interseção do modelo original, ou seja, o mesmo parâmetro β_0 . Com isso, esse parâmetro foi isolado na equação de sítio e substituído na equação original. A expressão resultante foi utilizada para gerar as curvas de índice de sítio, assim como para estimação do índice de sítio por unidade amostral.

3.2.2 Método da equação das diferenças

Para o método da equação das diferenças, os dados foram organizados de maneira a garantir o pareamento das informações de altura dominante e idade por unidade amostral. O modelo utilizado foi aquele que melhor descreveu a dinâmica da altura dominante em função da idade.

Para aplicação deste método, foram determinadas as diferenças sucessivas entre ($h_{\text{dom}2} - h_{\text{dom}1}$) e de $I_2 - I_1$, em que 1 e 2 refere-se à idade atual e imediatamente posterior, respectivamente. Duas abordagens foram utilizadas neste método, uma para construção de curvas anamórficas e outra para curvas polimórficas, sendo as mesmas dependentes do conceito utilizado na obtenção da expressão para gerar as curvas de sítio. As expressões utilizadas são encontradas em Santos, Thiersch e Moreira (2018) e Miranda et al. (2021).

3.2.3 Método da predição dos parâmetros

Para aplicação do método da predição dos parâmetros, o ajuste de um modelo de relação de altura dominante e idade para cada unidade amostral foi necessário. Desta forma, os coeficientes foram obtidos conforme as n unidades amostrais contidas na base de dados. O modelo utilizado foi aquele selecionado como o mais adequado no método da curva-guia. Além disso, estimar o índice de sítio para cada uma das unidades amostrais foi necessário, baseando-se no próprio modelo mencionado e no conceito de que, quando a idade foi igual à idade-índice, a altura dominante representou o sítio.

A partir daí, modelos relacionando-se cada um dos coeficientes com o índice de sítio foram ajustados, para cada unidade amostral. Os modelos para expressar essa relação foram selecionados conforme a dispersão entre os valores de cada coeficiente com os valores de índice de sítio. Em

seguida, as equações para cada coeficiente foram substituídas no modelo original, dando origem à expressão utilizada para gerar as curvas de índices de sítio e, conseqüentemente, para estimar o sítio por unidade amostral.

3.3 Modelagem da produção

O modelo empregado para a modelagem da produção foi o modelo desenvolvido por Clutter (1963). Esse modelo é do tipo povoamento total, de densidade variável, explícito e com características de compatibilidade e consistência (PENIDO, 2020). O modelo de Clutter está descrito a seguir (CLUTTER et al., 1983).

$$\ln(V_2) = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{I_2} \right) + \beta_2 S_1 + \beta_3 \ln(G_2) + \ln(\varepsilon_i) \quad (5)$$

$$\ln(G_2) = \ln(G_1) \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_0 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_1 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) S + \ln(\varepsilon_i) \quad (6)$$

Em que: V_2 = volume da i -ésima unidade de manejo, em m^3/ha , na idade I_2 ; G_1 = área basal da i -ésima unidade de manejo, em m^2/ha , na idade I_1 ; G_2 = área basal da i -ésima unidade de manejo, em m^2/ha , na idade I_2 ; I_1 = idade atual do povoamento, em meses; I_2 = idade futura do povoamento, em meses; S = índice de sítio da i -ésima unidade de manejo na idade I_1 ; ε_i = erro aleatório.

O modelo de Clutter foi ajustado pelo método dos mínimos quadrados em dois estágios (GUJARATI; PORTER, 2008; SALLES, 2012). Para isso, o volume e área basal foram considerados como variáveis endógenas e, como variáveis exógenas, a idade e o índice de sítio, além dos três termos da equação de área basal (MIRANDA; FIGUEIREDO FILHO, 2016). O modelo de Clutter foi ajustado quatro vezes, uma para cada método de classificação da capacidade produtiva avaliados, os ajustes foram realizados pelo software Statistica v.10.

3.4 Estatísticas de avaliação dos modelos

As estatísticas utilizadas para a avaliação das equações obtidas (expressões 7 a 13) foram o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{ajust}), erro padrão da estimativa relativo ($S_{yx}\%$) e a análise gráfica dos resíduos (Res%). O nível de significância α adotado na regressão e significância dos coeficientes foi de 5% ($p\text{-valor} \leq 0,05$).

$$R^2 = \frac{SQReg}{SQTot} = 1 - \frac{SQRes}{SQTot} \quad (7)$$

$$R^2_{ajust} = 1 - (1 - R^2) \left(\frac{n-1}{n-p} \right) \quad (8)$$

$$S_{yx} \% = 100 \sqrt{\left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{(n-p)} \right]} / \bar{Y} \quad (9)$$

$$Res \% = 100 \left(\frac{Y_1 - \hat{Y}_1}{Y_1} \right) \quad (10)$$

$$SQReg = \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2 \quad (11)$$

$$SQTot = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (12)$$

$$SQRes = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (13)$$

Em que: $SQReg$ = soma de quadrados da regressão; $SQRes$ = soma de quadrados dos resíduos; $SQTot$ = soma de quadrados totais; Y_i e \hat{Y}_i = valor observado e estimado da variável; \bar{Y} = valor médio observado da variável; n = número de observações; p = número de coeficientes do modelo.

O realismo biológico do modelo de Clutter foi verificado por meio da análise dos sinais nas equações ajustadas. Uma variável essencial para avaliação desta característica no modelo de Clutter é a área basal nas idades iniciais em cada classe de sítio, uma vez que influencia todas as demais estimativas de área basal na projeção. Neste trabalho, a área basal inicial foi obtida pela média de área basal nas idades iniciais em cada classe de sítio. Além do realismo biológico, as estatísticas utilizadas por Murphy e Sternitzke (1979) foram calculadas, as quais estão descritas em Nogueira (2003), sendo raiz quadrada do erro médio ($RQEM$), média das diferenças (MD), médias das diferenças percentuais (MDP), conforme a seguir.

$$RQEM = \sqrt{n^{-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2} \quad (14)$$

$$MD = n^{-1} \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i) \quad (15)$$

$$MDP = 100 \left(n^{-1} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\hat{Y}_i - Y_i}{Y_i} \right) \right) \quad (16)$$

Em que: Y_i = valor observado da variável; \hat{Y}_i = valor estimado da variável; \bar{Y} = valor médio observado da variável;
e n = número de observações.

Para averiguar possíveis diferenças estatísticas das estimativas de produção volumétrica utilizando a estimativa de sítio pelos diferentes métodos em avaliação, uma análise de variância (ANOVA) foi realizada, considerando um delineamento inteiramente casualizado (DIC). Este passo foi importante para verificar a influência do método de construção de curvas de índices de sítio nas estimativas de produção em volume. Essa análise foi realizada no programa Past v.4.03 (HAMMER et al., 2020), considerando significância de 5%. A homogeneidade da variância foi checada pelo teste de Levene (1960) e a normalidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk, devido à melhor abrangência do teste (MENDES; PALA, 2003).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 estão apresentados os coeficientes estimados e os resultados das estatísticas de qualidade de ajuste obtidos para a estimativa de altura dominante em função da idade. O coeficiente de determinação ajustado (R^2_{ajust}) variou de 0,55 a 0,58 e o erro padrão da estimativa ($S_{yx}\%$) de 12,41 a 12,48%. Todos os coeficientes foram significativos (p -valor < 0,05).

Tabela 2 Modelos testados para estimar altura dominante em função da idade com seus respectivos coeficientes e estatísticas de qualidade de ajuste, para plantios clonais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* da região Nordeste da Bahia

Modelo	Coeficientes				R^2_{ajust}	$S_{yx}\%$
	β_0	β_1	β_2	β_3		
Schumacher	3,6205	-22,3425	-	-	0,55	12,47
Chapman - Richards	34,8099	0,0215	0,8950	-	0,58	12,41
Clutter - Jones	1,4519	66,7642	2,8142	0,1835	0,57	12,48
Mitscherlich	34,7495	32,7856	0,9781	-	0,58	12,41

Sendo: R^2_{ajust} = coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} = erro padrão da estimativa relativo.

Analisando-se os valores das estatísticas de avaliação, os modelos de Mitscherlich e de Chapman-Richards não apresentaram diferença significativas, ficando empatadas e apresentando melhores estatísticas que os outros dois modelos, o que também foi verificado por Retslaff et al.

(2015), em plantios de *Eucalyptus grandis* na região dos Campos Gerais, estado do Paraná. A performance dos modelos de Schumacher e Clutter - Jones resultou em estatísticas inferiores aos das duas demais funções, podendo ser considerados menos adequados.

A distribuição dos resíduos foi semelhante e sem tendências significativas para todos os modelos testados (Figura 1). Os resultados podem ter sido afetados pela baixa quantidade de dados coletados, consequentemente, a maioria dos sítios não receberam uma quantidade adequada de dados em todas as idades. Conforme Spurr (1952) e Beck (1971), um dos erros das curvas anamórficas está relacionado à precisão, a qual ocorre somente quando a amostragem é adequadamente realizada em toda a variação do sítio.

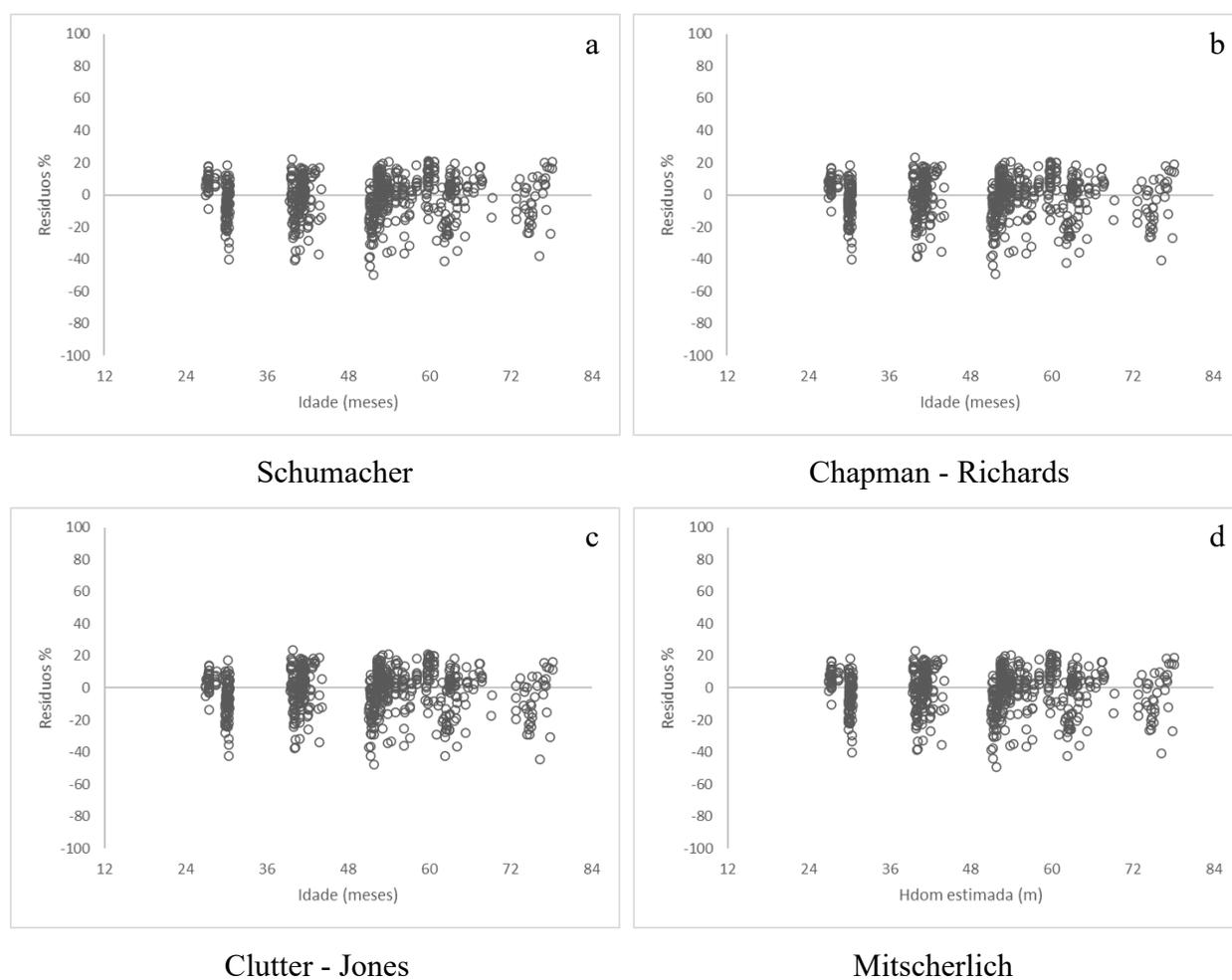


Figura 1. Distribuição de resíduos para os modelos de Schumacher (a), Chapman - Richards (b), Clutter - Jones (c) e Mitscherlich (d) para a estimativa de altura dominante em plantios clonais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* da região Nordeste da Bahia.

Uma vez que o modelo de Chapman-Richards apresentou estatísticas satisfatórias, a equação foi considerada adequada para a estimativa da altura dominante em função da idade. Essa escolha também levou em consideração o amplo uso e acurácia deste modelo no meio florestal (SANTOS; THIERSCH; MOREIRA, 2018).

Este modelo também foi escolhido por outros autores para classificar sítios na região norte do estado de Goiás para povoamentos de *Eucalyptus urophylla* (MIGUEL, 2009) e para classificar a qualidade produtiva de *Eucalyptus grandis* na região nordeste do Paraná (SANTANA, 2008), justificando a escolha pelo fato que, além dos resultados satisfatórios, o modelo tem um amplo uso em estudos com espécies de eucalipto no Brasil. Esse modelo também foi selecionado por Felde et al. (2010) e por Hreçay et al. (2014).

A partir da seleção da equação a ser utilizada para gerar estimativas de altura dominante em função da idade, as curvas de índices de sítio foram construídas para os diferentes métodos avaliados (Tabela 14). Para o método da equação das diferenças, os resultados estão apresentados considerando as expressões para construção de curvas anamórficas e polimórficas. Para o método da predição dos parâmetros, os modelos selecionados para estabelecer a relação entre os coeficientes do modelo de Chapman-Richards e o índice de sítio estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Modelos utilizados para estabelecer a relação entre os coeficientes do modelo de Chapman-Richards e o índice de sítio para o método da predição dos parâmetros para plantios clonais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* da região Nordeste da Bahia

Modelos	Coeficientes			R ² _{ajust}	S _{yx} %
	α ₀	α ₁	α ₂		
$\beta_0 = \alpha_0 + \alpha_1 S$	0	1,0510	-	0,9922	2,30
$\beta_1 = \alpha_0 + \alpha_1 S + \alpha_2 S^2$	0	0,0034	-0,0000493	0,9313	12,89
$\beta_2 = \alpha_0 + \alpha_1 S + \alpha_2 S^2$	0	0,0779	0,0005	0,8527	38,30

Sendo: R²_{ajust} = coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} = erro padrão da estimativa relativo.

Na sequência encontram-se os limites de altura dominante para quatro classes de sítio nas idades de 24 a 84 meses, para os diferentes métodos avaliados. Os limites são apresentados em relação às classes de sítios I, II, III e IV, sendo I e IV os sítios mais e menos produtivos, respectivamente. Nas Tabelas 4, 5, 6 e 7 estão apresentados os limites de altura dominante para os métodos da curva-guia, equação das diferenças para curvas anamórficas, equação das diferenças para curvas polimórficas e predição dos parâmetros, respectivamente.

Os limites de altura dominante para as classes de sítios I, II, III e IV foram iguais para os métodos da curva-guia e equação das diferenças para curvas anamórficas. O método da equação das diferenças para curvas polimórficas apresentou maiores limites de altura dominante para a classes de sítio I nas idades iniciais e menores na classe IV quando comparado aos demais métodos, podendo ocorrer a super e subestimação da variável, conseqüentemente. Esse fato pode ser justificado pelo formato polimórfico das curvas. Na idade-índice (72 meses), todos os métodos apresentaram os mesmos valores de sítio, com exceção da predição dos parâmetros.

Tabela 4. Limites de altura dominante para as classes de sítios I, II, III e IV definidos pelo método da curva-guia para a classificação da capacidade produtiva de plantios clonais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* da região Nordeste da Bahia

Idade (meses)	Sítio I (34 m)		Sítio II (30 m)		Sítio III (26 m)		Sítio IV (22 m)	
	32,1	36,0	28,1	32,0	24,1	28,0	20,0	24,0
24	17,6	19,7	15,4	17,5	13,3	15,3	11,0	13,2
30	20,5	22,9	17,9	20,4	15,4	17,8	12,7	15,3
36	22,9	25,7	20,1	22,8	17,2	20,0	14,3	17,1
42	25,0	28,0	21,9	24,9	18,8	21,8	15,6	18,7
48	26,9	30,1	23,5	26,8	20,2	23,4	16,7	20,1
54	28,5	31,9	24,9	28,4	21,4	24,8	17,7	21,3
60	29,8	33,5	26,1	29,7	22,4	26,0	18,6	22,3
66	31,1	34,8	27,2	31,0	23,3	27,1	19,3	23,2
72	32,1	36,0	28,1	32,0	24,1	28,0	20,0	24,0
78	33,0	37,0	28,9	32,9	24,8	28,8	20,6	24,7
84	33,8	37,9	29,6	33,7	25,4	29,5	21,1	25,3

Tabela 5. Limites de altura dominante para as classes de sítios I, II, III e IV definidos pelo método das equações das diferenças para curvas anamórficas para a classificação da capacidade produtiva de plantios clonais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* da região Nordeste da Bahia

Idade (meses)	Sítio I (34 m)		Sítio II (30 m)		Sítio III (26 m)		Sítio IV (22 m)	
	32,1	36,0	28,1	32,0	24,1	28,0	20,0	24,0
24	17,6	19,7	15,4	17,5	13,3	15,3	11,0	13,2
30	20,5	22,9	17,9	20,4	15,4	17,8	12,7	15,3
36	22,9	25,7	20,1	22,8	17,2	20,0	14,3	17,1
42	25,0	28,0	21,9	24,9	18,8	21,8	15,6	18,7
48	26,9	30,1	23,5	26,8	20,2	23,4	16,7	20,1
54	28,5	31,9	24,9	28,4	21,4	24,8	17,7	21,3
60	29,8	33,5	26,1	29,7	22,4	26,0	18,6	22,3
66	31,1	34,8	27,2	31,0	23,3	27,1	19,3	23,2
72	32,1	36,0	28,1	32,0	24,1	28,0	20,0	24,0
78	33,0	37,0	28,9	32,9	24,8	28,8	20,6	24,7

84	33,8	37,9	29,6	33,7	25,4	29,5	21,1	25,3
----	------	------	------	------	------	------	------	------

Tabela 6. Limites de altura dominante para as classes de sítios I, II, III e IV definidos pelo método das equações das diferenças para curvas polimórficas para a classificação da capacidade produtiva de plantios clonais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* da região Nordeste da Bahia

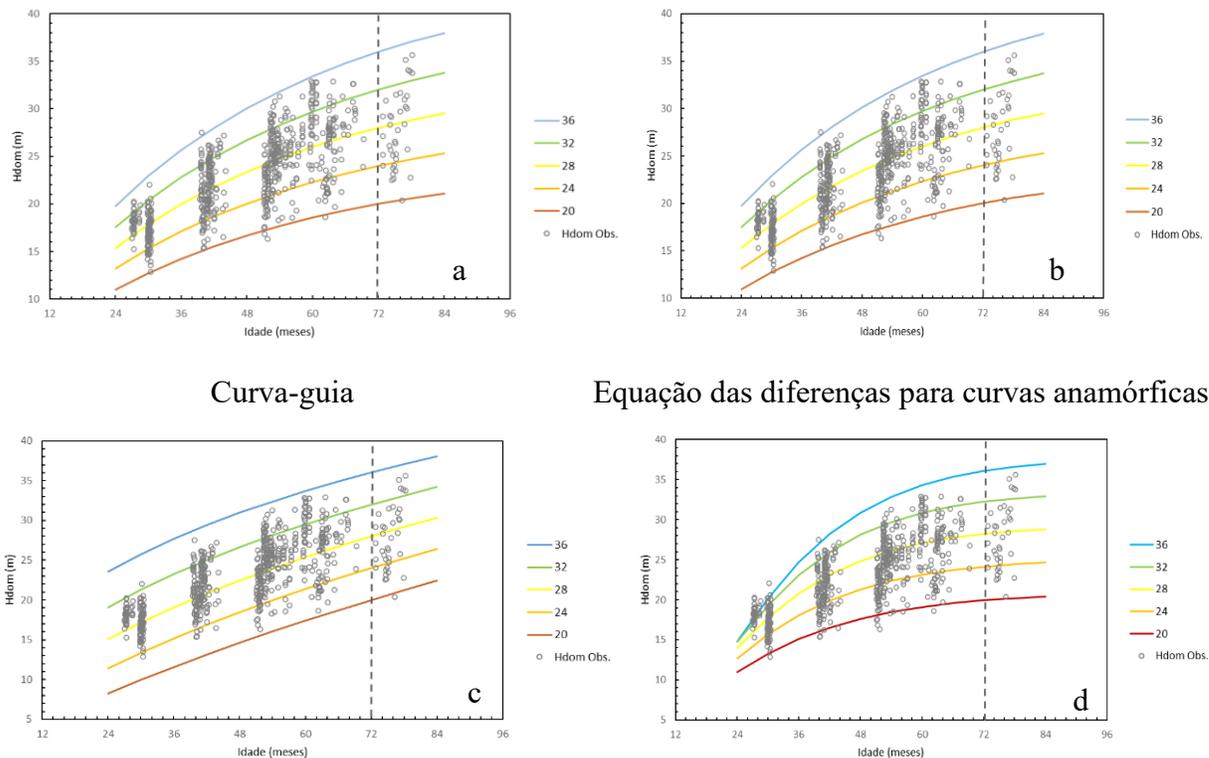
Idade (meses)	Sítio I (34 m)		Sítio II (30 m)		Sítio III (26 m)		Sítio IV (22 m)	
	32,1	36,0	28,1	32,0	24,1	28,0	20,0	24,0
24	19,2	23,6	15,2	19,1	11,5	15,1	8,3	11,4
30	21,4	25,8	17,3	21,3	13,5	17,2	10,0	13,4
36	23,4	27,7	19,2	23,3	15,3	19,1	11,6	15,2
42	25,1	29,4	20,9	25,0	17,0	20,8	13,1	16,9
48	26,7	31,0	22,6	26,6	18,5	22,5	14,6	18,4
54	28,2	32,4	24,1	28,1	20,0	24,0	16,0	19,9
60	29,6	33,7	25,5	29,5	21,5	25,4	17,4	21,4
66	30,9	34,9	26,8	30,8	22,8	26,7	18,7	22,7
72	32,1	36,0	28,1	32,0	24,1	28,0	20,0	24,0
78	33,2	37,0	29,3	33,1	25,3	29,2	21,2	25,2
84	34,3	38,0	30,4	34,2	26,5	30,3	22,4	26,4

Tabela 7. Limites de altura dominante para as classes de sítios I, II, III e IV definidos pelo método da predição dos parâmetros para a classificação da capacidade produtiva de plantios clonais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* da região Nordeste da Bahia

Idade (meses)	Sítio I (34 m)		Sítio II (30 m)		Sítio III (26 m)		Sítio IV (22 m)	
	32,1	36,0	28,1	32,0	24,1	28,0	20,0	24,0
24	14,8	14,8	14,1	14,7	12,8	14,0	11,0	12,7
30	19,4	20,2	17,9	19,3	15,8	17,8	13,3	15,7
36	23,2	24,7	20,9	23,1	18,2	20,8	15,1	18,1
42	26,0	28,2	23,2	25,9	20,0	23,1	16,5	19,9
48	28,2	30,9	25,0	28,1	21,4	24,9	17,6	21,3
54	29,8	32,9	26,2	29,7	22,5	26,1	18,5	22,4
60	30,9	34,3	27,2	30,8	23,2	27,1	19,1	23,1
66	31,8	35,3	27,8	31,7	23,8	27,7	19,6	23,7
72	32,3	36,1	28,3	32,2	24,2	28,2	19,9	24,1
78	32,8	36,6	28,7	32,7	24,5	28,6	20,2	24,4
84	33,0	37,0	28,9	32,9	24,7	28,8	20,4	24,6

Como forma de visualizar a adequação das curvas de sítio aos dados observados de altura dominante, para os quatro métodos avaliados, a Figura 2 foi elaborada. Os valores das classes de sítio foram obtidos para cobrirem uma amplitude de altura dominante de 20 a 36 m na idade-índice (72 meses). Os intervalos de classe das curvas de índice de sítio foram de 4 m. Em todos os

métodos, o modelo de Chapman-Richards gerou curvas adequadas aos valores observados, abrangendo a maioria das classes.



Equação das diferenças para curvas polimórficas

Predição de parâmetros

Figura 2. Curvas de índice de sítio construídas pelo modelo de Chapman-Richards para o método da curva-guia (a), equação das diferenças para curvas anamórficas (b), equação das diferenças para curvas polimórficas (c) e predição de parâmetros (d), para plantios clonais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* da região Nordeste da Bahia.

As curvas geradas pelos métodos da curva-guia e equação das diferenças para curvas anamórficas promoveram curvas muito parecidas (Figura 2). Em contrapartida, o método da equação das diferenças para curvas polimórficas indicou variação regular de altura dominante entre as classes de sítio ao longo do tempo. Finalmente, o método da predição dos parâmetros demonstrou que a altura dominante diferencia pouco em idades iniciais de medição, sendo essa diferença pronunciada à medida que se avança no tempo. Essas características das curvas podem estar associadas em maior grau às expressões do método do que necessariamente ao padrão de crescimento em altura dominante.

O passo seguinte consistiu em ajustar o modelo de Clutter considerando o sítio obtido por cada método avaliado. Os coeficientes e estatísticas de avaliação estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Coeficientes e estatísticas de avaliação do ajuste para o modelo de Clutter, para cada método de construção de curvas de sítio, para plantios clonais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* da região Nordeste da Bahia

Método	Coeficientes						Área Basal					Volume				
	β_0	β_1	β_2	β_3	α_0	α_1	R^2_{ajust}	$S_{yx}\%$	RQEM	MD	MDP	R^2_{ajust}	$S_{yx}\%$	RQEM	MD	MDP
CG	1,792370	-4,108200	0,032683	1,035090	2,297630	0,403755						0,98	5,86	11,55	-0,30	0,16
EDCA	1,800510	-4,353800	0,032812	1,033010	2,297630	0,403755	0,89	6,44	1,18	0,04	0,77	0,97	5,85	11,53	-0,53	0,05
EDCP	1,457070	-2,330700	0,039733	1,061310	2,297630	0,403755						0,93	6,21	12,25	3,44	2,59
PP	2,026910	-0,638100	0,022583	1,099480	2,297630	0,403755						0,95	10,59	20,87	-4,04	-1,49

Sendo: CG = método da curva-guia; EDCA = método da equação das diferenças para curvas anamórficas; EDCP = método da equação das diferenças para curvas polimórficas; PP = método da predição dos parâmetros; RQEM = raiz quadrada do erro médio; MD = média das diferenças; MDP = média das diferenças percentuais; R^2_{ajust} = coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} = erro padrão da estimativa relativo.

Os sinais associados aos coeficientes das equações devem ser analisados com atenção Clutter (1963). O sinal de β_1 para todos os métodos, associado ao inverso da idade, foi negativo e está coerente com a literatura (Campos; Leite, 2017), indicando uma análise do realismo biológico do modelo e colaborando para estimativas mais precisas.

Os coeficientes α_0 e α_1 foram os mesmos para todos os métodos, pois a variável S do modelo foi alterada para $\ln(G_1)$, visto que na forma original não foi possível atender ao realismo biológico do modelo, gerando estimativas de produção inconsistentes. Conseqüentemente, as estatísticas de qualidade de ajuste de área basal foram as mesmas para os quatro métodos (Tabela 8). Todos os coeficientes do modelo foram estatisticamente significativos ($p < 0,05$). Os erros das estimativas variaram de 5,86% (CG) a 10,59% (PP) para o volume e se mantém em 6,44% para área basal. Os coeficientes de determinação apresentaram pouca variação, sendo o maior valor para o método da curva-guia (0,98) e o menor para a predição dos parâmetros (0,95).

Construiu-se os gráficos de resíduos para as estimativas de volume e área basal para todos os métodos (Figura 3). A amplitude de variação dos resíduos para a equação de área basal foi maior nas idades iniciais e na idade de 50 meses houve uma leve subestimação dos valores.

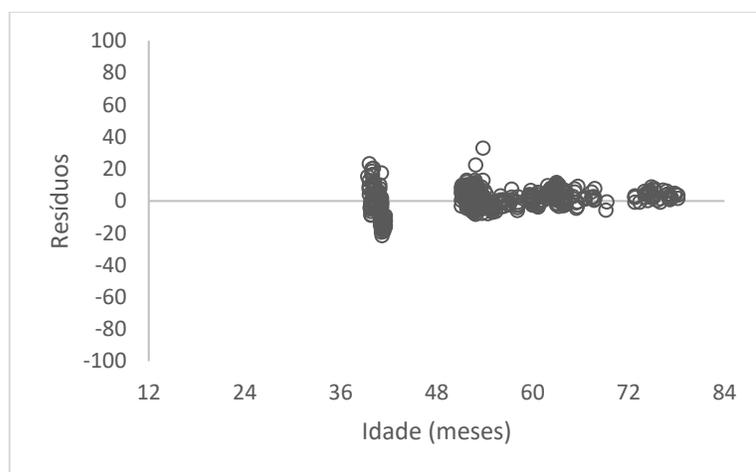


Figura 3. Dispersão dos resíduos para a equação de área basal do modelo de Clutter para os métodos de construção de curvas de sítio, para plantios clonais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* da região Nordeste da Bahia.

Para a equação de volume, todos os métodos apresentaram o mesmo comportamento, com exceção da predição de parâmetros, onde é possível observar maior dispersão dos resíduos nas idades iniciais e aos 50 meses (Figura 4). Os resultados indicam que o método da curva-guia e

equação das diferenças para curvas anamórficas apresentaram resultados ligeiramente superiores. Castro et al. (2016), estudando a modelagem do crescimento e da produção de povoamentos de *Eucalyptus* spp. em nível de distribuição diamétrica, concluíram que a classificação da capacidade produtiva por meio de índices de sítio foi eficiente pelos dois métodos avaliados (curva-guia e equação das diferenças), sendo selecionado o método da curva-guia devido a sua simplicidade e facilidade de aplicação.

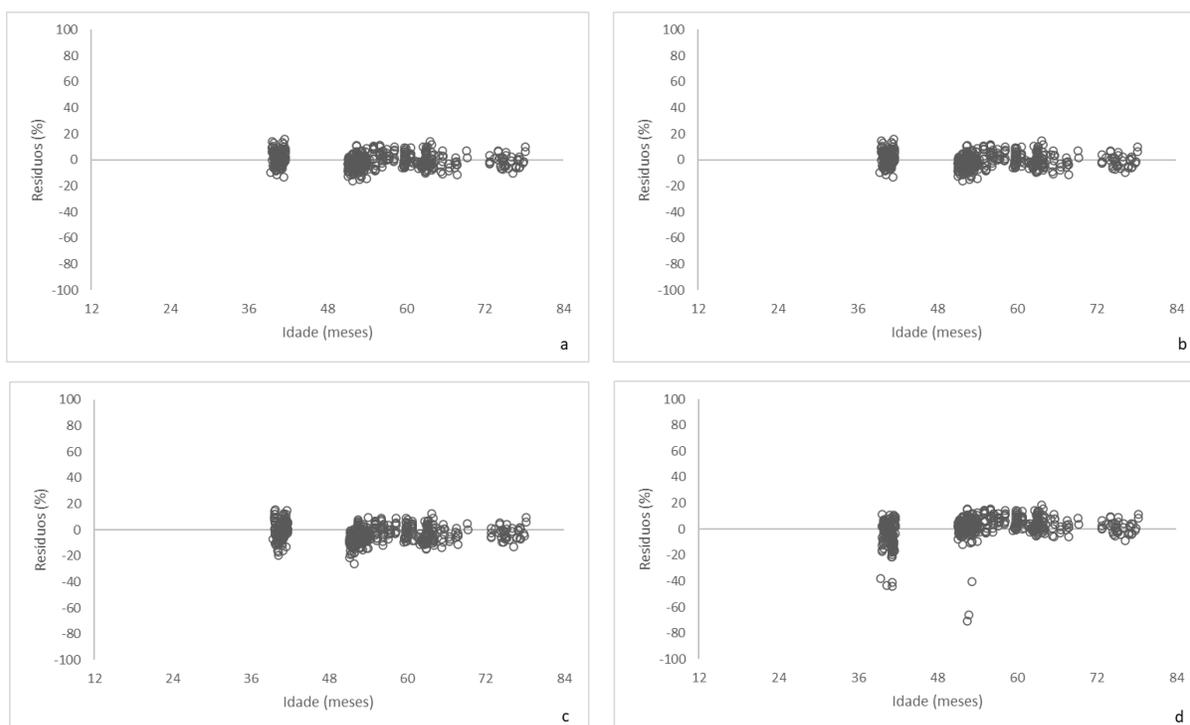


Figura 4. Dispersão dos resíduos para a equação de área basal do modelo de Clutter para o método da curva-guia (a), equação das diferenças para curvas anamórficas (b), equação das diferenças para curvas polimórficas (c) e predição de parâmetros (d), para plantios clonais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* da região Nordeste da Bahia.

Em seguida, aplicou-se os modelos e foram obtidas as tabelas de produção para os quatro métodos (Tabelas 10 a 13 do apêndice). As classes de sítio consideradas foram 34, 30, 26 e 22 m, referente às classes de sítio I, II, III e IV, respectivamente. Para o método da curva-guia (Tabela 10) as áreas basais iniciais foram de $13,65 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (27 meses), $12,62 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (27 meses), $11,40 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (30 meses) e $9,92 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (30 meses), respectivamente aos sítios I, II, III e IV. A idade técnica de corte (ITC) foi definida como 51 meses para o sítio I, 53 meses para o sítio II, 59 meses para o sítio III, e 64 meses para o sítio III.

A Tabela 11 apresenta a tabela de produção para o método das equações das diferenças para curvas anamórficas. A área basal inicial no sítio I foi de $13,47 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ aos 27 meses; para o sítio II, III e IV, foram de $11,04$, $11,76$ e $11,51 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, nas idades de 27 (II) e 30 meses (III e IV), respectivamente. A ITC determinada como 52 meses para o sítio I, 57 meses para o sítio II, 58 meses para o sítio III e 59 meses para o sítio IV.

O método das equações das diferenças para curvas polimórficas (Tabela 12) apresentou áreas iniciais de $10,79 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (30 meses), $11,51 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (27 meses), $11,64 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (30 meses) e $9,86 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (38 meses), para os sítios I, II, III e IV, respectivamente. A idade técnica de corte (ITC) foi definida como 60 meses para o sítio I, 55 meses para o sítio II, 57 meses para o sítio III e, para o sítio IV, houve aumento de 14 meses (71). A razão destes resultados está relacionada, possivelmente, à não utilização do sítio como variável independente na equação de área basal do modelo de Clutter.

Para o método da predição dos parâmetros (Tabela 13), as basais iniciais foram de $13,17 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (27 meses), $12,31 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (27 meses), $11,84 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (30 meses), e $11,55 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (30 meses), e ITC de 63, 65, 69 e 70 meses.

Uma sumarização das informações mais importantes sobre as produções em volume para as quatro classes de sítio está apresentada na Tabela 9, de modo a facilitar a visualização e comparação dos diferentes métodos. Para todos os métodos de construção de curvas de índices de sítio avaliados, as produções e ITC seguiram uma tendência esperada do ponto de vista biológico, ou seja, sítios mais produtivos atingiram a idade de máximo incremento médio mais cedo e à medida que se aumenta o valor do índice de sítio são encontrados maiores valores de produção, com exceção do método das equações das diferenças para curvas polimórficas. Embora as análises tenham sido realizadas com a idade em meses, o IMA foi apresentado em anos, como forma de facilitar a comparação com outros resultados encontrados na literatura.

Tabela 9. Idade técnica de corte, incremento médio anual e valores de produção volumétrica para diferentes métodos de construção de curvas de índice de sítio, para plantios clonais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* da região Nordeste da Bahia

Método	Índice de sítio (m)	Idade inicial (meses)	Gi (m ² ha ⁻¹)	ITC (meses)	Produção (m ³ ha)	IMA (m ³ ha ano ⁻¹)
CG	34	27	13,65	51	254,57	59,43
	30	27	12,62	53	219,54	49,34
	26	30	11,40	59	188,50	38,54
	22	30	9,92	64	163,14	30,64
EDCA	34	27	13,47	52	257,45	58,96
	30	27	11,04	57	215,95	45,38
	26	30	11,76	58	189,50	39,28
	22	30	11,51	59	166,55	33,93
EDCP	34	30	10,79	60	241,60	48,16
	30	27	11,51	55	210,80	45,91
	26	30	11,64	57	176,58	37,24
	22	38	9,86	71	142,84	24,24
PP	34	27	13,17	63	297,59	56,33
	30	27	12,31	65	268,13	49,20
	26	30	11,84	69	239,95	41,79
	22	30	11,55	70	218,74	37,55

Sendo: CG = curva-guia; EDCA = equação das diferenças para curvas anamórficas; EDCP = equação das diferenças para curvas polimórficas; PP = predição dos parâmetros; Gi = área basal inicial; ITC = idade técnica de corte; IMA = incremento médio anual.

As curvas de incremento médio e corrente mensal foram construídas, assim como a curva de produção, para cada um dos métodos (Figuras 5 a 8). Na Figura 5 constam as curvas de incremento médio e corrente mensal para os quatro sítios para o método da curva-guia, sendo as respectivas idades técnicas de corte identificadas com a linha vertical. Constam, ainda, as curvas de produção para cada um destes sítios. O mesmo acontece para o método das equações das diferenças para curvas anamórficas (Figura 6) e polimórficas (Figura 7) e predição dos parâmetros (Figura 8).

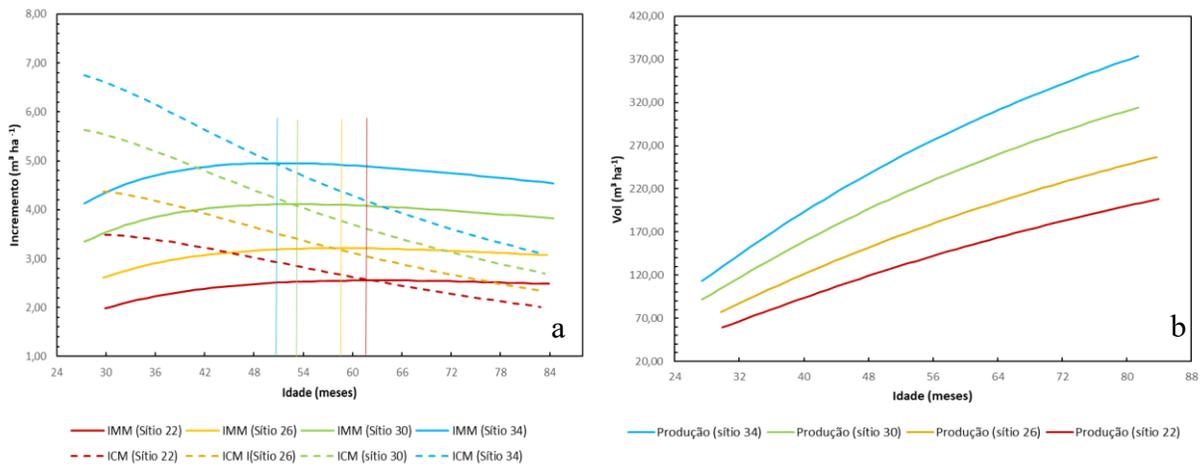


Figura 5. Curvas de incremento médio e corrente mensal (a) e curvas de produção (b) para o método da curva-guia de plantios clonais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* da região Nordeste da Bahia.

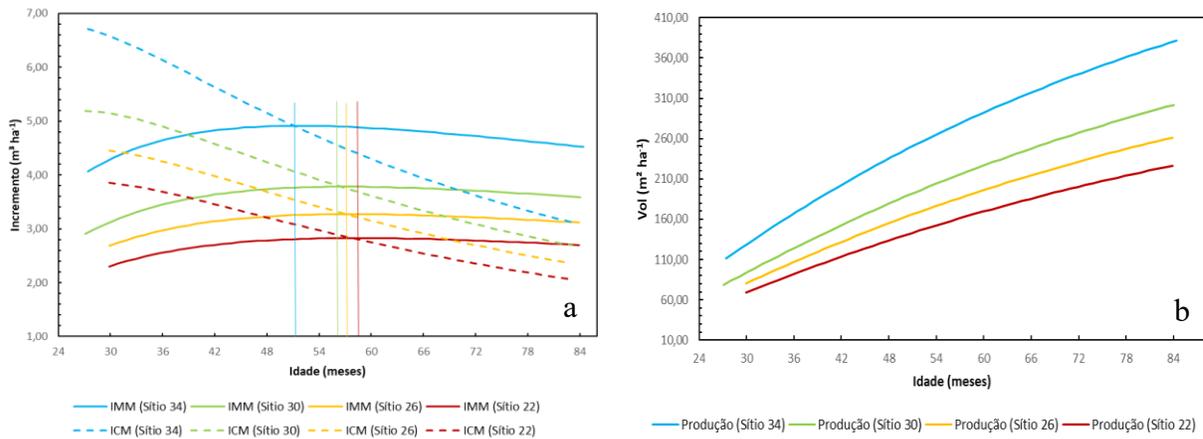


Figura 6. Curvas de incremento médio e corrente mensal (a) e curvas de produção (b) para o método da equação das diferenças para curvas anamórficas de plantios clonais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* da região Nordeste da Bahia.

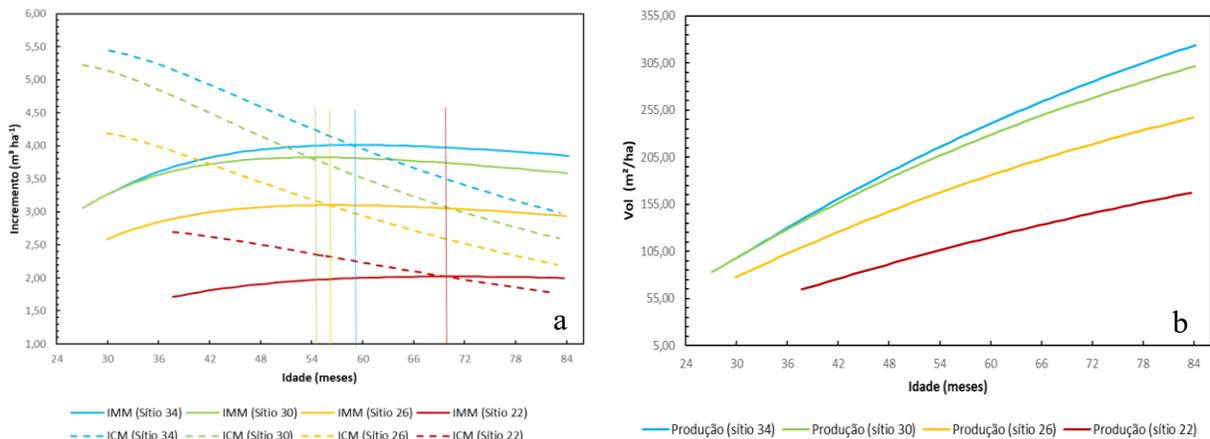


Figura 7. Curvas de incremento médio e corrente mensal (a) e curvas de produção (b) para o método da equação das diferenças para curvas polimórficas de plantios clonais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* da região Nordeste da Bahia.

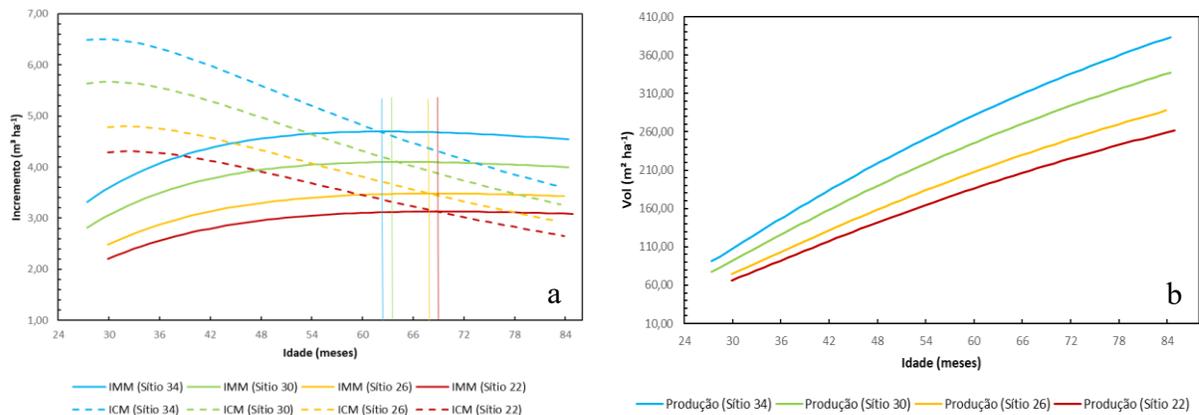


Figura 8. Curvas de incremento médio e corrente mensal (a) e curvas de produção (b) para o método da predição dos parâmetros de plantios clonais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* da região Nordeste da Bahia.

Definidas as equações baseadas no modelo de Clutter para cada método de construção de curvas de índices de sítio, produções em volume foram obtidas para cada um destes métodos, nas idades de 30 a 90 meses, com intervalo de 6 meses. A normalidade e homogeneidade dos dados foram confirmadas a partir dos testes de Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente.

Desta forma, a análise de variância foi conduzida, a partir do teste F. Os resultados indicaram não haver diferenças significativas. Resultado esperado dado à alta correlação linear existente entre os valores de produção, os quais se apresentaram acima de 0,99.

Diante disso, o método de construção de curvas de índice de sítio não influenciou as estimativas de produção de volume. É necessário destacar que os resultados podem ter influência

da não diferenciação das estimativas de área basal, uma vez que a variável independente “sítio” na equação de área basal foi alterada.

5 CONCLUSÃO

O modelo biológico de Chapman-Richards apresentou resultados superiores aos demais modelos testados, além de possuir características lógicas para projeções do índice de sítio. As curvas de sítio construídas por este modelo foram adequadas para a classificação de sítios *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* da região Nordeste da Bahia.

Os métodos da curva-guia e equação das diferenças para curvas anamórficas se mostraram ligeiramente superiores dentre os avaliados.

O modelo de produção de Clutter foi adequado na obtenção das estimativas de volume e área basal, fornecendo valores coerentes do ponto de vista estatístico e biológico para os métodos avaliados, exceto para a equação das diferenças para curvas polimórficas.

O método de construção de curvas de índice de sítio não influenciou as estimativas de produção de volume.

REFERÊNCIAS

- BECK, D. E., Polymorphic curves for white pine in the southern Appalachians. USDA, Forest Service Research Paper, Asheville, n.80, p.1-89, 1971.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: perguntas e respostas**. 5.ed. atualizada e ampliada. Viçosa: Editora UFV. 2017. 636 p.
- CLUTTER, J. L. Compatible growth and yield for *Loblolly pine*. **Forest Science**, Cambridge, v. 9, n. 3, p. 354-371, 1963.
- CLUTTER, J.L.; FORSTSON, J.C.; PIENNAR, L.V. BRISTER, G.H.; BAILEY, R.L. **Timber management: A quantitative approach**. John Wiley & Sons, 1983. 333 p.
- DIAS, A. N.; LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; RODRIGUES, F. L. Avaliação de métodos de ajuste de curvas de índices de local em povoamentos de eucalipto desbastados. **Revista Árvore**, v.29, p.741-747, 2005.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Plantações florestais: Geração de benefícios com baixo impacto ambiental. 2016. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/Biblioteca/Estudo_embrapa.pdf> Acesso em: 02 de agosto de 2021.
- FELDE, J. L.; RETSLAFF, F. A. S.; FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS A. N. Curvas de índice de sítio para povoamentos de *Eucalyptus dunnii* na região central do Paraná. **Anais... II Seminário de Atualização Florestal e XI Semana de Estudos Florestais**, Irati, 2010.
- GUJARATI, D. N.; PORTER, D.C. **Basic econometrics**. 5.ed. McGraw-Hill Education. 2008. 944p.
- HAMMER O, HARPER DAT, RYAN PD. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9pp. 2020. Disponível em: <https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm>
- HREÇAY, L.; WEBER, V. P.; SILVA, L. T. M.; LIZ, J. P. C.; VANDRESEN, P. B. Curvas de índice de sítio para plantios florestais comerciais de *Pinus taeda* L. localizados na região oeste catarinense. **Anais... 3º Encontro brasileiro de silvicultura**, 2014.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Relatório IBÁ 2021. Brasília: IBÁ, 2021. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2021-compactado.pdf>>. Acesso em: 05 de março de 2022.
- LEVENE, H. Robust Tests for the equality of variance. In: Olkin, I(Ed.) **Contributions to Probability and Statistics**, Palo Alto, California: Stanford University Press, 1960. p.278– 292.

MIGUEL, E. P. **Avaliação biométrica e prognose da produção de *Eucalyptus urophylla* (S. T. Blake) na região norte do estado de Goiás.** 2009. 165 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

MIGUEL, E. P.; ENCINAS, J. I.; REZENDE, A. V.; FERREIRA, J. C. S.; AGUIAR, G. P. Classificação de sítio para plantios de *Eucalyptus urophylla* em Niquelândia, estado de Goiás. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 12, p. 1-11, mai. 2011.

MIRANDA, R. O.; FIGUEIREDO FILHO, A.; MACHADO, S.; CASTRO, R.; FIORENTIN, L.; BERNETT, L. Modelagem da mortalidade em povoamentos de *Pinus taeda* L. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 115, p. 435-444, set. 2017. <https://doi.org/10.18671/scifor.v45n115.02>

MIRANDA, R. O. V., FIGUEIREDO FILHO, A., COSTA, E. A., FIORENTIN, L. D., KOHLER, S. V., EBLING, Â. A. Métodos da curva-guia e equação das diferenças na classificação de sítio e sua relação na descrição da altura em *Pinus taeda* L. **Scientia Forestalis**, v. 49, n. 131, p. e3565, 2021. <https://doi.org/10.18671/scifor.v49n131.24>

MURPHY, P. A.; STERNITZKE, H. S. **Growth and yield for loblolly pine in West Gulf.** U.S Dep. Agric. For. Serv. Res., Pap. SO-154, 8 p. 1979.

NOGUEIRA, G. S. **Modelagem do crescimento e da produção de povoamentos de *Eucalyptus sp.* e de *Tectona grandis* submetidas a desbaste.** UFV: Viçosa. 126p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 2003.

PEGO, M. F. F.; ASSIS, A. L.; CABACINHA, C. D. Classificação de sítios florestais em povoamentos de eucalipto na microrregião de Salinas, Minas Gerais. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 11, n. 1, p. 1-5, jun. 2015.

PENIDO, T. M. A., LAFETÁ, B. O., NOGUEIRA, G. S., ALVES, P. H., GORGENS, E. B., OLIVEIRA, M. L. R. Modelos de crescimento e produção para a estimativa volumétrica em povoamentos comerciais de eucalipto. **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 128, p. e3340, 2020. <https://doi.org/10.18671/scifor.v48n128.06>

RETSLAFF, F. A. S.; FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A. N.; BERNETT, L. G.; FIGURA, M. A. Curvas de sítio e relações hipsométricas para *Eucalyptus grandis* na região dos Campos Gerais, Paraná. **Cerne**, Lavras, v. 21, n. 2, p. 219-225, jan. 2015. [Acessado 11 Março 2022]. <https://doi.org/10.1590/01047760201521021349>

SALLES, T. T.; LEITE, H. G.; OLIVEIRA NETO, S. N.; SOARES, C. P. B.; PAIVA, H. N.; SANTOS, F. L. Modelo de Clutter na modelagem de crescimento e produção de eucalipto em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 48: p. 253 - 260. 2012 <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000200014>

SANTOS, C. J.; THIERSCH, C. R.; MOREIRA, M. F. B. Regressão não linear quantílica para classificação de sítio em povoamentos de *Eucalyptus sp.* **Scientia Forestalis**, 46(120), 551-561. 2018. <https://doi.org/10.18671/scifor.v46n120.04>

SANTANA, C. J. O. **Simulação do crescimento e da produção em plantações desbastadas de *Eucalyptus grandis* com diferentes procedimentos de obtenção dos parâmetros da distribuição Weibull**. 100 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

SCAVINSKI, V. **Projeção da produção utilizando curvas de sítio anamórficas e polimórficas para plantios de *Eucalyptus grandis* W. Hill**. Dissertação de mestrado (Pós-graduação) – Universidade Estadual do Centro Oeste, 2014.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, Paulo S. P. **Introdução ao Manejo Florestal**. 2 ed. Santa Maria: FACOS – UFSM, 2008.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria Florestal: Métodos para classificação de sítios florestais**. Lavras: UFLA/FAEP, 1997. 151p.

SCOLFORO, J. R. S. **Mensuração Florestal 4: classificação de sítios florestais**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1993. 138 p.

SILVA, G. C. C. **Modelagem do crescimento e da produção florestal em povoamentos de eucalipto desbastado e não desbastado**. Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2017.

SILVA, F.; PIMENTEL, A.; CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R. Classificação de sítio para *Pinus caribaea* var. hondurensis na região do Triângulo Mineiro. **Revista Acadêmica, Ciências Agrárias Ambiental**, Curitiba, v. 11, Supl. 1, p. S105-S112, 2013. <https://doi.org/10.7213/academica.10.S01.AO12>

SILVA, A., SOUZA, R., LIARTE, G., DE LIMA, R., ABREU, J. Classificação de sítios em plantio florestal de eucalipto no estado do Amapá. **Revista Arquivos Científicos (IMMES)**, 3(1), 106-110, 2020. <https://doi.org/https://doi.org/10.5935/2595-4407/rac.immes.v3n1p106-110>

SKOVSGAARD, J. P.; VANCLAY, J. K. Forest site productivity: review of the evolution of dendrometric concepts for even – aged stands. **Forestry**, v. 81, n. 1, p. 13 – 31, 2008. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpm041>

SOARES, T. S. **Otimização do uso da madeira em povoamentos de eucalipto**. 49 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

SPURR, S. H. **Forest Inventory**. New York, The Ronald Press Company. 1952.

VANCLAY, J. K. Assessing site productivity in tropical moist forests: a review. **Forest Ecology and Management**, v. 54, p. 257 – 287, 1992. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(92\)90017-4](https://doi.org/10.1016/0378-1127(92)90017-4)

VANCLAY, J. K. **Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests**. Copenhagen: CAB International, 1994. 312p.

ANEXOS/APÊNDICE

Tabela 10. Produção em volume ($\text{m}^3 \text{ ha} \text{ mês}^{-1}$) e área basal ($\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$) por classe de sítio pelo método da curva-guia, para plantios clonais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* da região Nordeste da Bahia

Idade (meses)	Sítio I (34 m)		Sítio II (30 m)		Sítio III (26 m)		Sítio IV (22 m)	
	G ($\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$)	V ($\text{m}^3 \text{ ha} \text{ mês}^{-1}$)	G ($\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$)	V ($\text{m}^3 \text{ ha} \text{ mês}^{-1}$)	G ($\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$)	V ($\text{m}^3 \text{ ha} \text{ mês}^{-1}$)	G ($\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$)	V ($\text{m}^3 \text{ ha} \text{ mês}^{-1}$)
27	13,65	113,20	12,62	91,58	-	-	-	-
28	14,01	119,95	12,97	97,21	-	-	-	-
29	14,36	126,65	13,32	102,81	-	-	-	-
30	14,70	133,30	13,65	108,36	11,40	77,43	9,92	59,16
31	15,03	139,87	13,98	113,87	11,72	81,81	10,22	62,64
32	15,35	146,38	14,29	119,34	12,03	86,17	10,52	66,12
33	15,66	152,82	14,60	124,75	12,33	90,50	10,81	69,59
34	15,96	159,18	14,90	130,10	12,63	94,80	11,09	73,04
35	16,25	165,45	15,19	135,39	12,92	99,07	11,37	76,47
36	16,54	171,65	15,48	140,63	13,20	103,30	11,64	79,89
37	16,82	177,77	15,76	145,79	13,48	107,50	11,91	83,28
38	17,09	183,80	16,03	150,90	13,75	111,65	12,17	86,65
39	17,35	189,74	16,29	155,94	14,01	115,77	12,42	89,99
40	17,61	195,60	16,55	160,91	14,27	119,84	12,67	93,31
41	17,86	201,38	16,80	165,81	14,52	123,86	12,92	96,59
42	18,11	207,07	17,04	170,65	14,77	127,85	13,16	99,85
43	18,35	212,67	17,28	175,42	15,01	131,78	13,40	103,07
44	18,58	218,19	17,52	180,12	15,24	135,67	13,63	106,26
45	18,81	223,63	17,75	184,76	15,48	139,51	13,85	109,42
46	19,03	228,99	17,97	189,33	15,70	143,31	14,08	112,55
47	19,25	234,26	18,19	193,84	15,92	147,06	14,29	115,64
48	19,47	239,46	18,41	198,28	16,14	150,76	14,51	118,70
49	19,68	244,57	18,62	202,66	16,35	154,42	14,72	121,73
50	19,88	249,61	18,82	206,97	16,56	158,03	14,92	124,72
51	20,08	254,57	19,02	211,22	16,77	161,60	15,13	127,68
52	20,28	259,45	19,22	215,41	16,97	165,11	15,32	130,60
53	20,47	264,27	19,42	219,54	17,17	168,59	15,52	133,49
54	20,66	269,00	19,61	223,61	17,36	172,02	15,71	136,35
55	20,84	273,67	19,79	227,62	17,55	175,40	15,90	139,17

Idade (meses)	Sítio I (34 m)		Sítio II (30 m)		Sítio III (26 m)		Sítio IV (22 m)	
	G (m ² ha ⁻¹)	V (m ³ ha mês ⁻¹)	G (m ² ha ⁻¹)	V (m ³ ha mês ⁻¹)	G (m ² ha ⁻¹)	V (m ³ ha mês ⁻¹)	G (m ² ha ⁻¹)	V (m ³ ha mês ⁻¹)
56	21,02	278,26	19,97	231,58	17,74	178,74	16,09	141,96
57	21,20	282,79	20,15	235,47	17,92	182,04	16,27	144,72
58	21,37	287,25	20,33	239,31	18,10	185,29	16,45	147,45
59	21,54	291,64	20,50	243,10	18,28	188,50	16,62	150,14
60	21,71	295,96	20,67	246,83	18,45	191,67	16,80	152,80
61	21,87	300,23	20,84	250,51	18,62	194,80	16,97	155,44
62	22,04	304,43	21,00	254,13	18,79	197,89	17,14	158,04
63	22,19	308,56	21,16	257,71	18,96	200,94	17,30	160,60
64	22,35	312,64	21,32	261,23	19,12	203,95	17,46	163,14
65	22,50	316,66	21,47	264,71	19,28	206,92	17,62	165,65
66	22,65	320,62	21,62	268,14	19,44	209,85	17,78	168,13
67	22,80	324,52	21,77	271,51	19,59	212,75	17,94	170,58
68	22,94	328,37	21,92	274,85	19,74	215,61	18,09	173,00
69	23,09	332,16	22,07	278,14	19,89	218,43	18,24	175,39
70	23,23	335,90	22,21	281,38	20,04	221,22	18,39	177,76
71	23,36	339,59	22,35	284,58	20,18	223,97	18,54	180,10
72	23,50	343,23	22,49	287,73	20,33	226,68	18,68	182,41
73	23,63	346,81	22,62	290,85	20,47	229,37	18,82	184,69
74	23,76	350,35	22,76	293,92	20,61	232,02	18,96	186,95
75	23,89	353,84	22,89	296,95	20,74	234,64	19,10	189,18
76	24,02	357,28	23,02	299,94	20,88	237,22	19,24	191,38
77	24,15	360,67	23,14	302,90	21,01	239,78	19,37	193,56
78	24,27	364,02	23,27	305,81	21,14	242,30	19,50	195,72
79	24,39	367,33	23,39	308,69	21,27	244,79	19,63	197,85
80	24,51	370,59	23,52	311,53	21,40	247,25	19,76	199,96
81	24,63	373,80	23,64	314,33	21,52	249,69	19,89	202,04
82	24,74	376,98	23,75	317,10	21,65	252,09	20,01	204,10
83	24,86	380,11	23,87	319,83	21,77	254,47	20,14	206,14
84	24,97	383,21	23,99	322,53	21,89	256,81	20,26	208,15

Tabela 11. Produção em volume ($\text{m}^3 \text{ ha} \text{ mês}^{-1}$) e área basal ($\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$) por classe de sítio pelo método da equações da diferenças para curvas anamórficas, para plantios clonais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* da região Nordeste da Bahia

Idade (meses)	Sítio I (34 m)		Sítio II (30 m)		Sítio III (26 m)		Sítio IV (22 m)	
	G ($\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$)	V ($\text{m}^3 \text{ ha} \text{ mês}^{-1}$)	G ($\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$)	V ($\text{m}^3 \text{ ha} \text{ mês}^{-1}$)	G ($\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$)	V ($\text{m}^3 \text{ ha} \text{ mês}^{-1}$)	G ($\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$)	V ($\text{m}^3 \text{ ha} \text{ mês}^{-1}$)
27	13,47	111,45	11,04	78,81	-	-	-	-
28	13,83	118,17	11,39	84,00	-	-	-	-
29	14,18	124,83	11,72	89,18	-	-	-	-
30	14,52	131,44	12,05	94,35	11,76	80,25	11,51	68,84
31	14,84	137,99	12,37	99,49	12,08	84,71	11,83	72,69
32	15,16	144,47	12,68	104,59	12,39	89,14	12,14	76,53
33	15,47	150,88	12,98	109,67	12,69	93,55	12,44	80,34
34	15,78	157,22	13,28	114,70	12,99	97,92	12,73	84,12
35	16,07	163,48	13,57	119,69	13,28	102,26	13,02	87,88
36	16,35	169,67	13,85	124,63	13,56	106,55	13,30	91,61
37	16,63	175,77	14,13	129,53	13,84	110,81	13,58	95,30
38	16,90	181,79	14,40	134,37	14,11	115,03	13,85	98,95
39	17,17	187,72	14,66	139,17	14,37	119,20	14,11	102,57
40	17,43	193,58	14,92	143,90	14,63	123,33	14,37	106,15
41	17,68	199,35	15,17	148,59	14,88	127,41	14,62	109,70
42	17,92	205,03	15,41	153,22	15,13	131,44	14,86	113,20
43	18,16	210,64	15,65	157,79	15,37	135,43	15,10	116,66
44	18,40	216,16	15,89	162,30	15,60	139,36	15,34	120,08
45	18,63	221,60	16,12	166,76	15,83	143,25	15,57	123,46
46	18,85	226,96	16,34	171,16	16,06	147,10	15,80	126,80
47	19,07	232,23	16,56	175,51	16,28	150,89	16,02	130,10
48	19,28	237,43	16,78	179,80	16,50	154,63	16,23	133,36
49	19,49	242,55	16,99	184,03	16,71	158,33	16,45	136,57
50	19,70	247,59	17,20	188,21	16,92	161,98	16,65	139,75
51	19,90	252,56	17,40	192,33	17,12	165,58	16,86	142,88
52	20,09	257,45	17,60	196,40	17,33	169,13	17,06	145,98
53	20,29	262,27	17,80	200,42	17,52	172,64	17,26	149,03
54	20,47	267,02	17,99	204,38	17,71	176,10	17,45	152,05
55	20,66	271,69	18,18	208,29	17,90	179,52	17,64	155,02
56	20,84	276,30	18,36	212,14	18,09	182,89	17,82	157,96

Idade (meses)	Sítio I (34 m)		Sítio II (30 m)		Sítio III (26 m)		Sítio IV (22 m)	
	G (m ² ha ⁻¹)	V (m ³ ha mês ⁻¹)	G (m ² ha ⁻¹)	V (m ³ ha mês ⁻¹)	G (m ² ha ⁻¹)	V (m ³ ha mês ⁻¹)	G (m ² ha ⁻¹)	V (m ³ ha mês ⁻¹)
57	21,02	280,83	18,55	215,95	18,27	186,22	18,01	160,86
58	21,19	285,30	18,72	219,70	18,45	189,50	18,19	163,72
59	21,36	289,71	18,90	223,41	18,63	192,74	18,36	166,55
60	21,53	294,04	19,07	227,06	18,80	195,94	18,54	169,33
61	21,70	298,32	19,24	230,67	18,97	199,10	18,71	172,08
62	21,86	302,53	19,41	234,23	19,14	202,21	18,87	174,80
63	22,02	306,68	19,57	237,74	19,30	205,28	19,04	177,48
64	22,17	310,77	19,73	241,20	19,46	208,32	19,20	180,13
65	22,32	314,80	19,89	244,62	19,62	211,31	19,36	182,74
66	22,47	318,78	20,05	248,00	19,78	214,27	19,52	185,32
67	22,62	322,70	20,20	251,33	19,93	217,19	19,67	187,87
68	22,77	326,56	20,35	254,62	20,08	220,07	19,82	190,38
69	22,91	330,37	20,50	257,86	20,23	222,91	19,97	192,86
70	23,05	334,12	20,64	261,07	20,38	225,71	20,12	195,31
71	23,19	337,82	20,79	264,23	20,52	228,49	20,26	197,74
72	23,33	341,47	20,93	267,35	20,67	231,22	20,40	200,13
73	23,46	345,07	21,07	270,44	20,81	233,92	20,54	202,49
74	23,59	348,63	21,20	273,48	20,94	236,59	20,68	204,82
75	23,72	352,13	21,34	276,49	21,08	239,23	20,82	207,12
76	23,85	355,59	21,47	279,45	21,21	241,83	20,95	209,39
77	23,97	359,00	21,60	282,39	21,35	244,40	21,08	211,64
78	24,10	362,36	21,73	285,28	21,48	246,94	21,22	213,86
79	24,22	365,68	21,86	288,14	21,60	249,44	21,34	216,05
80	24,34	368,96	21,98	290,97	21,73	251,92	21,47	218,22
81	24,46	372,19	22,11	293,76	21,85	254,37	21,60	220,36
82	24,57	375,38	22,23	296,51	21,98	256,79	21,72	222,47
83	24,69	378,53	22,35	299,24	22,10	259,17	21,84	224,56
84	24,80	381,64	22,47	301,93	22,22	261,54	21,96	226,62

Tabela 12. Produção em volume ($\text{m}^3 \text{ ha} \text{ mês}^{-1}$) e área basal ($\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$) por classe de sítio pelo método da da equações da diferenças para curvas polimórficas, para plantios clonais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* da região Nordeste da Bahia

Idade (meses)	Sítio I (34 m)		Sítio II (30 m)		Sítio III (26 m)		Sítio IV (22 m)	
	G ($\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$)	V ($\text{m}^3 \text{ ha} \text{ mês}^{-1}$)	G ($\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$)	V ($\text{m}^3 \text{ ha} \text{ mês}^{-1}$)	G ($\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$)	V ($\text{m}^3 \text{ ha} \text{ mês}^{-1}$)	G ($\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$)	V ($\text{m}^3 \text{ ha} \text{ mês}^{-1}$)
27	-	-	11,51	82,93	-	-	-	-
28	-	-	11,86	88,16	-	-	-	-
29	-	-	12,20	93,36	-	-	-	-
30	10,79	98,79	12,53	98,53	11,64	77,34	-	-
31	11,10	104,23	12,85	103,67	11,96	81,53	-	-
32	11,40	109,65	13,17	108,76	12,27	85,70	-	-
33	11,69	115,03	13,47	113,82	12,57	89,84	-	-
34	11,98	120,38	13,77	118,82	12,87	93,95	-	-
35	12,26	125,70	14,06	123,78	13,16	98,02	-	-
36	12,54	130,97	14,35	128,68	13,44	102,06	-	-
37	12,81	136,19	14,62	133,52	13,71	106,05	-	-
38	13,07	141,37	14,89	138,31	13,98	110,00	9,86	64,56
39	13,33	146,50	15,16	143,05	14,25	113,91	10,10	67,26
40	13,58	151,57	15,42	147,72	14,50	117,78	10,34	69,94
41	13,83	156,59	15,67	152,33	14,75	121,60	10,57	72,61
42	14,07	161,56	15,91	156,89	15,00	125,37	10,80	75,26
43	14,31	166,48	16,16	161,39	15,24	129,10	11,02	77,89
44	14,54	171,34	16,39	165,82	15,48	132,79	11,24	80,50
45	14,77	176,14	16,62	170,20	15,71	136,43	11,46	83,10
46	14,99	180,89	16,85	174,52	15,93	140,02	11,67	85,68
47	15,21	185,58	17,07	178,78	16,15	143,56	11,88	88,23
48	15,42	190,22	17,29	182,98	16,37	147,06	12,09	90,76
49	15,63	194,80	17,50	187,12	16,58	150,52	12,29	93,28
50	15,84	199,32	17,70	191,21	16,79	153,93	12,49	95,77
51	16,04	203,79	17,91	195,24	17,00	157,30	12,69	98,23
52	16,24	208,20	18,11	199,21	17,20	160,62	12,88	100,68
53	16,43	212,56	18,30	203,13	17,39	163,90	13,07	103,10
54	16,63	216,87	18,50	206,99	17,59	167,13	13,26	105,50
55	16,81	221,12	18,68	210,80	17,78	170,32	13,45	107,88

Idade (meses)	Sítio I (34 m)		Sítio II (30 m)		Sítio III (26 m)		Sítio IV (22 m)	
	G (m ² ha ⁻¹)	V (m ³ ha mês ⁻¹)	G (m ² ha ⁻¹)	V (m ³ ha mês ⁻¹)	G (m ² ha ⁻¹)	V (m ³ ha mês ⁻¹)	G (m ² ha ⁻¹)	V (m ³ ha mês ⁻¹)
56	17,00	225,32	18,87	214,56	17,96	173,47	13,63	110,23
57	17,18	229,47	19,05	218,27	18,15	176,58	13,81	112,56
58	17,36	233,56	19,23	221,92	18,32	179,64	13,98	114,87
59	17,54	237,60	19,40	225,52	18,50	182,67	14,16	117,15
60	17,71	241,60	19,57	229,08	18,67	185,66	14,33	119,42
61	17,88	245,54	19,74	232,58	18,84	188,60	14,50	121,66
62	18,04	249,43	19,91	236,04	19,01	191,51	14,66	123,87
63	18,21	253,28	20,07	239,45	19,18	194,38	14,83	126,07
64	18,37	257,08	20,23	242,82	19,34	197,21	14,99	128,24
65	18,53	260,83	20,39	246,14	19,50	200,01	15,15	130,39
66	18,69	264,53	20,54	249,41	19,65	202,77	15,30	132,52
67	18,84	268,19	20,70	252,64	19,81	205,49	15,46	134,63
68	18,99	271,80	20,85	255,83	19,96	208,18	15,61	136,71
69	19,14	275,37	20,99	258,98	20,11	210,84	15,76	138,77
70	19,29	278,90	21,14	262,08	20,25	213,46	15,91	140,82
71	19,43	282,38	21,28	265,14	20,40	216,04	16,06	142,84
72	19,58	285,83	21,42	268,17	20,54	218,60	16,20	144,84
73	19,72	289,23	21,56	271,15	20,68	221,12	16,34	146,82
74	19,86	292,58	21,70	274,10	20,82	223,61	16,49	148,78
75	19,99	295,90	21,83	277,01	20,95	226,07	16,62	150,72
76	20,13	299,18	21,96	279,88	21,09	228,50	16,76	152,64
77	20,26	302,43	22,09	282,71	21,22	230,90	16,90	154,55
78	20,39	305,63	22,22	285,51	21,35	233,27	17,03	156,43
79	20,52	308,79	22,35	288,28	21,48	235,62	17,16	158,29
80	20,65	311,92	22,47	291,01	21,61	237,93	17,29	160,14
81	20,77	315,02	22,59	293,70	21,73	240,21	17,42	161,96
82	20,90	318,07	22,72	296,36	21,85	242,47	17,55	163,77
83	21,02	321,09	22,84	298,99	21,97	244,70	17,67	165,56
84	21,14	324,08	22,95	301,59	22,09	246,91	17,80	167,33

Tabela 13. Produção em volume ($\text{m}^3 \text{ ha} \text{ mês}^{-1}$) e área basal ($\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$) por classe de sítio pelo método da predição dos parâmetros, para plantios clonais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* da região Nordeste da Bahia

Idade (meses)	Sítio I (34 m)		Sítio II (30 m)		Sítio III (26 m)		Sítio IV (22 m)	
	G ($\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$)	V ($\text{m}^3 \text{ ha} \text{ mês}^{-1}$)	G ($\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$)	V ($\text{m}^3 \text{ ha} \text{ mês}^{-1}$)	G ($\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$)	V ($\text{m}^3 \text{ ha} \text{ mês}^{-1}$)	G ($\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$)	V ($\text{m}^3 \text{ ha} \text{ mês}^{-1}$)
27	13,17	91,01	12,31	77,20	-	-	-	-
28	13,53	97,49	12,66	82,83	-	-	-	-
29	13,87	103,99	13,00	88,48	-	-	-	-
30	14,21	110,49	13,34	94,14	11,84	74,20	11,55	65,96
31	14,54	116,99	13,66	99,81	12,16	78,98	11,87	70,25
32	14,86	123,47	13,98	105,47	12,47	83,78	12,18	74,56
33	15,17	129,93	14,28	111,12	12,78	88,57	12,48	78,86
34	15,47	136,36	14,58	116,75	13,07	93,37	12,78	83,17
35	15,76	142,75	14,87	122,36	13,36	98,16	13,06	87,47
36	16,05	149,10	15,16	127,93	13,65	102,93	13,35	91,77
37	16,32	155,40	15,43	133,48	13,92	107,68	13,62	96,04
38	16,60	161,65	15,70	138,98	14,19	112,42	13,89	100,30
39	16,86	167,85	15,97	144,44	14,46	117,12	14,15	104,54
40	17,12	173,99	16,22	149,86	14,71	121,80	14,41	108,75
41	17,37	180,08	16,47	155,23	14,96	126,45	14,66	112,94
42	17,62	186,10	16,72	160,55	15,21	131,06	14,91	117,10
43	17,86	192,06	16,96	165,83	15,45	135,64	15,15	121,23
44	18,09	197,95	17,19	171,05	15,69	140,18	15,38	125,32
45	18,32	203,79	17,42	176,21	15,92	144,68	15,61	129,38
46	18,54	209,55	17,65	181,33	16,15	149,15	15,84	133,41
47	18,76	215,25	17,87	186,39	16,37	153,57	16,06	137,40
48	18,98	220,89	18,08	191,39	16,58	157,95	16,28	141,36
49	19,19	226,46	18,29	196,34	16,80	162,28	16,49	145,28
50	19,39	231,96	18,50	201,24	17,01	166,58	16,70	149,16
51	19,59	237,39	18,70	206,08	17,21	170,83	16,90	153,00
52	19,79	242,76	18,90	210,86	17,41	175,04	17,10	156,81
53	19,98	248,06	19,09	215,59	17,61	179,20	17,30	160,57
54	20,17	253,30	19,28	220,26	17,80	183,32	17,49	164,30

Idade (meses)	Sítio I (34 m)		Sítio II (30 m)		Sítio III (26 m)		Sítio IV (22 m)	
	G (m ² ha ⁻¹)	V (m ³ ha mês ⁻¹)	G (m ² ha ⁻¹)	V (m ³ ha mês ⁻¹)	G (m ² ha ⁻¹)	V (m ³ ha mês ⁻¹)	G (m ² ha ⁻¹)	V (m ³ ha mês ⁻¹)
55	20,36	258,47	19,47	224,88	17,99	187,39	17,68	167,98
56	20,54	263,58	19,65	229,44	18,17	191,43	17,87	171,63
57	20,72	268,63	19,83	233,95	18,36	195,41	18,05	175,24
58	20,89	273,61	20,01	238,41	18,54	199,36	18,23	178,81
59	21,06	278,53	20,18	242,81	18,71	203,26	18,40	182,35
60	21,23	283,39	20,35	247,16	18,89	207,12	18,58	185,84
61	21,39	288,18	20,52	251,45	19,06	210,93	18,75	189,30
62	21,56	292,92	20,68	255,70	19,22	214,70	18,92	192,72
63	21,72	297,59	20,84	259,89	19,39	218,43	19,08	196,10
64	21,87	302,21	21,00	264,03	19,55	222,12	19,24	199,44
65	22,03	306,77	21,16	268,13	19,71	225,77	19,40	202,75
66	22,18	311,27	21,31	272,17	19,86	229,37	19,56	206,02
67	22,33	315,72	21,46	276,17	20,02	232,94	19,71	209,25
68	22,47	320,11	21,61	280,11	20,17	236,46	19,86	212,45
69	22,62	324,45	21,75	284,01	20,32	239,95	20,01	215,61
70	22,76	328,73	21,90	287,87	20,46	243,39	20,16	218,74
71	22,90	332,96	22,04	291,67	20,61	246,80	20,30	221,83
72	23,03	337,14	22,17	295,44	20,75	250,17	20,45	224,89
73	23,17	341,26	22,31	299,15	20,89	253,50	20,59	227,91
74	23,30	345,34	22,45	302,83	21,03	256,79	20,72	230,90
75	23,43	349,37	22,58	306,46	21,16	260,05	20,86	233,86
76	23,56	353,35	22,71	310,04	21,30	263,27	20,99	236,79
77	23,68	357,27	22,84	313,59	21,43	266,46	21,13	239,68
78	23,81	361,16	22,96	317,09	21,56	269,61	21,26	242,55
79	23,93	364,99	23,09	320,56	21,69	272,72	21,39	245,38
80	24,05	368,78	23,21	323,98	21,81	275,80	21,51	248,18
81	24,17	372,53	23,33	327,37	21,94	278,85	21,64	250,95
82	24,29	376,23	23,45	330,71	22,06	281,86	21,76	253,69
83	24,40	379,89	23,57	334,02	22,18	284,85	21,88	256,40
84	24,52	383,50	23,68	337,29	22,30	287,79	22,00	259,08

Tabela 14. Equações finais ajustadas para diferentes métodos de construção de curvas de índice de sítio, para plantios clonais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* da região Nordeste da Bahia.

Método	Coeficientes			Equações
	β_0	β_1	β_2	
CG				$H_{\text{dom}} = S * \frac{(1 - e^{(-\beta_1 d)})^{\beta_2}}{(1 - e^{(-\beta_1 d_{\text{ref}})})^{\beta_2}}$
EDCA	34,8099	0,02147	0,89495	$H_{\text{dom}} = \frac{S}{\left(\frac{1 - e^{-\beta_1 I_i}}{1 - e^{-\beta_1 I}}\right)^{\beta_2}}$
EDCP				$H_{\text{dom}} = e^{\left[\frac{\ln(S) - \ln(\beta_0)}{\left(\frac{\ln(e^{-\beta_1 I_2})}{\ln(e^{-\beta_1 I_1})}\right)} + \ln(\beta_0) \right]}$
PP				$h_{\text{dom}} = (\beta_0 + \beta_1 S) (1 - e^{-(\beta_0 + \beta_1 S + \beta_2 S^2) I})^{(\beta_0 + \beta_1 S + \beta_2 S^2)}$

Sendo: CG = curva-guia; EDCA = equação das diferenças para curvas anamórficas; EDCP = equação das diferenças para curvas polimórficas; PP = predição dos parâmetros.