

MARIA TEREZA ANGELETTI NUNES

**PRODUÇÃO E SORTIMENTO DE MADEIRA DE *Toona ciliata* VAR. *australis*
CULTIVADA NO ENTORNO DE CAFEZAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Sílvio Nolasco de Oliveira Neto

Coorientadores: Haroldo Nogueira de Paiva
Helio Garcia Leite

VIÇOSA – MINAS GERAIS

2020

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

N972p
2020
Nunes, Maria Tereza Angeletti, 1992-
Produção e sortimento de madeira de *Toona ciliata* var.
australis cultivada no entorno de cafezais / Maria Tereza
Angeletti Nunes. – Viçosa, MG, 2020.

43 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Sílvio Nolasco de Oliveira Neto.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f.42-43.

1. Agrossilvicultura. 2. Coffea arabica. 3. Toona.
4. Madeira . I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Engenharia Florestal. Mestrado em Ciência Florestal. II. Título.

CDO adapt. CDD. 634.926

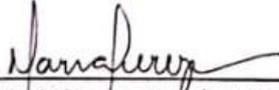
MARIA TEREZA ANGELETTI NUNES

PRODUÇÃO E SORTIMENTO DE MADEIRA DE *Toona ciliata* VAR. *australis*
CULTIVADA NO ENTORNO DE CAFEZAIS

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 18 de fevereiro de 2020

Assentimento:



Maria Tereza Angeletti Nunes
Autora



Sílvio Nolasco de Oliveira Neto
Orientador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, que nunca mediram esforços para me oferecer as melhores oportunidades e que sempre acreditaram em mim mesmo quando eu não acreditava, tudo isso é por vocês.

À minha irmã.

Aos meus “silviamigos”: Amana, Júlia e Gabriel que além de dividirem a salinha comigo dividiram também todos os perrengues e alegrias do mestrado, eu amo vocês.

Ao Fernando e ao Armando pela ajuda no campo e nas coletas de dados.

À Jéssica, que foi meu alicerce em Viçosa nos últimos 9 anos.

À Laila, por estar sempre presente, independente da distância.

Ao Yuri, meu amor, por me apoiar e dividir a vida comigo.

Ao professor Haroldo Nogueira de Paiva, pelas ideias, sugestões e inspirações compartilhadas durante o processo de execução desse trabalho.

Ao professor Helio Garcia Leite, pelos inúmeros conhecimentos compartilhados e principalmente pelas palavras amigas.

Ao professor Sílvio Nolasco de Oliveira Neto, pela orientação e parceria durante os últimos anos.

Ao Sérgio Henrique Viana Maciel, proprietário da Fazenda Oásis / Ouro Verde, onde coletamos os dados para realização dessa pesquisa, pela valiosa disponibilidade e incentivo.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial, ao Departamento de Engenharia Florestal bem como ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal; e à CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão da bolsa de pesquisa.

O correr da vida embrulha tudo.
A vida é assim: esquenta e esfria
aperta e daí afrouxa
sossega e depois desinquieta.
O que ela quer da gente é coragem

Guimarães Rosa

RESUMO

NUNES, Maria Tereza Angeletti, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2020. **Produção e sortimento de madeira de *Toona ciliata* var. *australis* cultivada no entorno de cafezais.** Orientador: Sílvio Nolasco de Oliveira Neto. Coorientadores: Haroldo Nogueira de Paiva e Helio Garcia Leite.

O objetivo desse trabalho foi avaliar as características dendrométricas e ajustar modelos hipsométricos, volumétricos e de afilamento do fuste, bem como realização de análise de sortimento e de multiprodutos da madeira, para avaliação da produção de madeira do Cedro-australiano (*Toona ciliata*) cultivado no entorno de talhões de cafezais, em Coimbra, Zona da Mata mineira. Foram mensuradas árvores de 6, 8, 9 e 10 anos de idade, cultivadas em fileiras simples, distanciadas em 3 m entre si, nos perímetros dos talhões de cafezais. Foram selecionados 60 indivíduos de cada idade para realização de um inventário. As árvores foram agrupadas em classes diamétricas com 2 cm de amplitude, sendo selecionadas três em cada classe para realização de uma cubagem não destrutiva. Foi realizada análise da distribuição diamétrica e, para análise da relação hipsométrica, foram ajustados dois modelos exponenciais e um modelo potencial. Para estimativas do volume de madeira foram ajustados um modelo volumétrico e quatro modelos de afilamento do fuste. A produção foi estimada por área (hectare) cultivada com cafeeiro, bem como por quilômetro (km) de vias de acesso que circundam os talhões. Para a análise de rendimento otimizado de madeira serrada em multiprodutos foram considerados dois sortimentos: 1 - toras de 2,4 m de comprimento, com diâmetro mínimo de 25 cm; e 2 - toras de 1,0 m de comprimento, com diâmetro de 10 a 25 cm na extremidade mais fina. As maiores classes de diâmetro foram observadas nas árvores com 10 anos de idade e as menores naquelas com 6 anos, sendo que em todas as idades identificou-se tendência de distribuição normal. A relação hipsométrica foi melhor representada por um modelo exponencial, sendo indicada a realização do ajuste individual para cada idade avaliada. A produção de madeira estimada foi de 18,88; 54,23; 65,15 e 72,42m³ ha⁻¹ cultivado com cafeeiro, para as idades 6, 8, 9 e 10 anos, respectivamente. Para as análises de afilamento do fuste o modelo proposto por Garay foi o que apresentou melhor ajuste, sendo que a análise considerando os sortimentos 1 e 2 proporcionou aproveitamento total de 87,15% da madeira e a análise de multiprodutos promoveu a otimização das possíveis medidas de corte a serem adotadas na serraria.

Palavras-chave: Sistemas Agroflorestais. Cedro-australiano. *Coffea* spp. Inventário. Produção de madeira.

ABSTRACT

NUNES, Maria Tereza Angeletti, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2020. **Yield and assortment of *Toona ciliata* var. *australis* wood cultivated around coffee plantations**
Adviser: Silvio Nolasco de Oliveira Neto. Co-advisers: Haroldo Nogueira de Paiva and Helio Garcia Leite.

The aim of this work was to evaluate the dendrometric characteristics and adjust hypsometric, volumetric and taper models, as well as carrying out analysis of assortment and wood multi-products, to evaluate the wood production of Australian Cedar (*Toona Ciliata*) grown surrounding coffee plantations, in Coimbra, Zona da Mata, Minas Gerais. Trees with 6, 8, 9 and 10 years of age were measured, they were cultivated in simple rows on the perimeters of the coffee plantations and spaced 3 m apart. Sixty individuals of each age were selected to carry out an inventory. The trees were grouped in diametric classes with an amplitude of 2 cm, with three being selected in each class to perform a non-destructive cubing. An analysis of the diametric distribution was carried out and, to analyze the hypsometric relationship, two exponential models and one potential model were adjusted. To estimate the volume of wood, a volumetric model and four taper models were adjusted. The production was estimated by area (hectare) cultivated with coffee, as well as by kilometer (km) of access roads surrounding the plots. For the analysis of optimized yield of sawn wood in multi-products, two assortments were considered: 1 - logs of 2.4 m in length, with a minimum diameter of 25 cm; and 2 - 1.0 m long logs, with a diameter of 10 to 25 cm at the thinnest end. The largest diameter classes were observed in trees at 10 years of age and the smallest in those at 6 years of age, with a tendency for normal distribution at all ages. The hypsometric relationship was best represented by an exponential model, with individual adjustment being indicated for each age assessed. The estimated wood production was 18.88; 54.23; 65.15 and 72.42 m³ ha⁻¹ cultivated with coffee, for ages 6, 8, 9 and 10 years, respectively. For the tapering analysis, the model proposed by Garay was the one with the best adjustment, and the analysis considering assortments 1 and 2 provided a total use of 87.15% of the wood, and the analysis of multi-products promoted the optimization of possible measures of cut to be adopted in the sawmill.

Keywords: Agroforestry Systems. Australian-cedar. *Coffea* spp. Inventory. Timber Production.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS	12
3. METODOLOGIA.....	13
3.1 Caracterização da Área.....	13
3.2 Caracterização do Sistema Agroflorestal	13
3.3 Inventário e Análises	15
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1 Distribuição de Diâmetros.....	21
4.2 Relação Hipsométrica.....	23
4.3 Relação Volumétrica	27
4.4 Forma do Fuste.....	33
5. CONCLUSÕES.....	41
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

1. INTRODUÇÃO

A proposta de cultivar cafeeiros em sistemas arborizados no Brasil é foco de debates e pesquisas desde a década de 1940, principalmente visando adequar o ambiente de cultivo em áreas marginais, quando condições climáticas adversas podem limitar a condução bem-sucedida dos cafeeiros. Apesar de diversas experiências não proporcionarem sucesso, normalmente em função de um número excessivo de árvores, promovendo elevado nível de sombreamento e aumentando a competição por recursos, na década de 1970 renasce o interesse na prática de arborizar cafezais, porém buscando níveis de sombreamento moderado (CARAMORI et al., 2004; DAMATTA et al., 2007).

Associadas às questões dos aspectos climáticos, outras possíveis vantagens da arborização de cafeeiros são, possibilidade de maior ciclagem de nutrientes, incremento de matéria orgânica e fauna do solo, fixação biológica de nitrogênio, estocagem de carbono e conservação de biodiversidade (BEER et al., 1998; DAMATTA e RODRIGUEZ, 2007), assim como a melhoria na qualidade do produto, com frutos maiores e de maturação mais lenta (DAMATTA, 2004a), e potencial de melhoria da qualidade da bebida (DAMATTA et al., 2007). Neste contexto, associa-se ainda a perspectiva para produção orgânica, certificada e de cafés especiais, cujos mercados encontram-se em expansão. Além disso, a importância de serviços ecossistêmicos em variados sistemas de produção, bem como o potencial que os sistemas agroflorestais apresentam em relação à obtenção desses serviços, é uma questão amplamente discutida, inclusive em relação à cafeicultura e à produção de café consorciado com espécies arbóreas (CERDA et al., 2017).

Apesar das vantagens apresentadas acima, a produção média do cafeeiro em ambiente arborizado é frequentemente afetada de forma negativa pelo sombreamento, que será definido em função das espécies arbóreas, número e arranjo espacial das plantas e do manejo do sistema consorciado (CARAMORI et al., 2004).

Uma alternativa para minimizar os efeitos do sombreamento e as perdas de produção devido a competição por recursos de crescimento, é o cultivo do componente arbóreo em espaçamentos mais amplos, ou mesmo no entorno dos talhões. Isto pode facilitar as atividades de plantio e manejo das árvores, bem como o corte das mesmas e colheita de madeira, uma vez que os danos causados ao cafezal por essas atividades representam uma

das preocupações do produtor que adota o consórcio de cafeeiros com espécies arbóreas (BEER et al. 1998).

As decisões sobre o uso das espécies arbóreas a serem incluídas no sistema, bem como sobre onde e como plantá-las devem ser tomadas de acordo com os objetivos da produção, as condições ambientais e os insumos disponíveis, sendo que as condições do sítio sempre serão relevantes no sucesso ou não do sistema (BEER et al., 1998).

Na Zona da Mata mineira, onde a cafeicultura é expressiva entre pequenos e médios agricultores, existem relatos de cafeeiros arborizados com diversas espécies, entre elas: Jequitibá, Guapuruvu, Araucária, Ipês, Casuarina, Cedro-australiano, Abacate, *Citrus* sp., Macadâmia, Urucum, Pitanga e Palmito (FRANCO, 1995; CAMPANHA et al., 2004). Muller et al. (2004) discutem sobre experiências de sistemas agroflorestais com Cedro-australiano e cafeeiros na Zona da Mata e comentam sobre o potencial para diversificação da produção e fonte de renda, mencionando a necessidade de mais estudos.

O Cedro-australiano (*Toona ciliata*) é de ocorrência natural das regiões da Ásia e Austrália. Seu cultivo é difundido em países da América do Sul em razão dos bons resultados de crescimento e adaptação às condições de clima e solo, sendo também utilizado em diferentes regiões do Brasil diante ao seu potencial produtivo e madeireiro (ALVES et al., 2017; NASSUR et al., 2013). Sua madeira é caracterizada como avermelhada e aromática, de boa qualidade, com potencial para uso em serraria e de comum aceitação para fins de marcenaria e construção civil, sendo ainda utilizada na produção de móveis (BRAZ et al 2013; LORENZI et al., 2003). É uma espécie decídua, o que representa uma vantagem para a arborização de cafeeiros, uma vez que a perda de folhas, além de favorecer a ciclagem de nutrientes no solo, coincide com o período de floração do cafeeiro, quando as plantas necessitam de mais luz. O que ocorre durante os períodos mais secos do ano, no inverno (SOUZA et al., 2010; MORAIS et al., 2003).

Considerando as propostas de arborização que indicam um sombreamento esparso, com no máximo 50% de cobertura do terreno (DAMATTA, 2004b), o espaçamento do componente arbóreo em cafezais deve ser mais amplo. Estes espaçamentos influenciarão o ritmo de crescimento em diâmetro e altura, bem como a forma do fuste e a produtividade de madeira, sendo que, essas alterações nas variáveis dendrométricas poderão refletir nos ajustes de modelos hipsométricos, de volumetria e *Taper*. No que diz respeito a avaliação de modelos para gerar estimativas de crescimento e produção de Cedro-australiano cultivado

com cafeeiros, são poucas as pesquisas, em relação ao encontrado para espécies arbóreas tradicionalmente cultivadas. No Brasil, destaca-se aquelas realizadas por Andrade et al. (2000) e Alves et al. (2017), ambas com Cedro-australiano cultivado em espaçamento convencional de 3 x 3 m, considerado inadequado para arborização de cafeeiros diante elevada densidade do componente arbóreo.

2. OBJETIVOS

Avaliar as características dendrométricas e ajustar modelos hipsométricos, volumétricos e de afilamento do fuste para estimação da produção de madeira de Cedro-australiano, cultivado no entorno de talhões de cafezais, nas idades de 6, 8, 9 e 10 anos.

Objetivos específicos

Ajustar equações hipsométricas adequadas para predição dos valores de altura do Cedro-australiano cultivado no entorno de cafezais, em diferentes idades;

Ajustar equação volumétrica para Cedro-australiano cultivado no entorno de cafezais, em diferentes idades;

Determinar a produção do Cedro-australiano cultivado no entorno de cafezais, em diferentes idades, por área cultivada com cafeeiros;

Ajustar equações para descrever o afilamento do fuste do Cedro-australiano cultivado no entorno de cafezais, em diferentes idades, e realizar análises de sortimentos e multiprodutos da madeira visando otimizar o seu uso em serraria.

3. METODOLOGIA

3.1 Caracterização da Área

A área do estudo está localizada na Fazenda Oásis / Ouro Verve, produtora de cafés especiais certificados, situada no município de Coimbra, Zona da Mata mineira, entre as coordenadas geográficas 20° 50' 30'' de latitude Sul e 42° 48' 30'' de longitude Oeste, em altitude aproximada de 860 m. A região inserida no bioma Mata Atlântica, com vegetação característica do tipo Floresta Estacional Semidecidual (RIZZINI, 1997), e solos predominantes do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo (SANTOS et al., 2006).

O clima é classificado como subtropical de altitude (Cwb), caracterizado por invernos secos e verão com temperaturas amenas, segundo a classificação de Köppen. A precipitação média anual é de 1.360 mm por ano e a temperatura média de 19,3° C (ALVARES et al., 2013).

3.2 Caracterização do Sistema Agroflorestal

O sistema avaliado é composto por cafeeiros (*Coffea arabica*), cultivares catuaí-amarelo e catuaí-vermelho, plantados no espaçamento 2,8 x 0,7 m, com Cedro-australiano cultivado no entorno dos talhões, em fileira única e com distância de 3 m entre plantas.

O solo da área experimental foi amostrado na camada de 0-20 cm de profundidade e analisado quimicamente. Foram analisadas duas amostras, a primeira relativa à área onde se encontra o plantio de Cedro-australiano com 6 anos de idade e a segunda relativa à área com plantios de 8, 9 e 10 anos de idade. Os resultados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Resultado da análise química de amostras do solo (camada 0-20 cm de profundidade) onde está implantado o sistema agroflorestal com cafeeiros e Cedro-australiano, em Coimbra, MG

Idade (anos)	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	----- CTC -----		V	m	MO	Cu	Zn
									Efet.	Total					
		---- mg dm ⁻³ ----			----- cmol _c dm ⁻³ -----					----- % -----		dag kg ⁻¹	-- mg dm ⁻³ --		
6	6,17	89,98	96,72	3,29	0,93	0,00	3,60	4,47	4,47	8,07	55,39	0,00	2,11	1,56	3,94
8, 9 e 10	4,34	150,47	197,60	1,08	0,33	0,86	9,30	1,92	2,78	11,22	17,11	30,94	2,61	1,13	2,94

*Extratores utilizados:

pH em água – relação 1:25

P, K, Cu e Zn = extrator Melich 1

Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺ = extrator KCl 1 mol L⁻¹

H+Al = Extrator Acetato de Ca 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0

SB = soma de bases trocáveis

CTC efetiva = Cap. de troca catiônica efetiva

CTC total = Cap. de troca catiônica a pH7

V = índice de saturação de bases

m = índice de saturação de alumínio.

Os plantios do Cedro-australiano foram realizados em novembro de 2008, 2009, 2010 e 2012. Foram preparadas covas de 50 x 50 x 50 cm, que receberam oito litros de matéria orgânica (esterco de galinha), 500 g de calcário e 400 g de superfosfato simples. Nas covas preparadas para o plantio de 2009 foram aplicados também, 250 g de fosfato monoamônico (MAP). Em todos os plantios foi realizada adubação de cobertura aplicando 250 g de NPK (06-30-06) por planta.

Foram realizadas quatro desramas de 1,5 m de altura nas árvores plantadas em 2008, 2009 e 2010, e duas desramas de 1,0 m nas plantadas em 2012, com auxílio de serras manuais e motopoda.

A produção de café é manejada no sistema safra zero, que visa diminuição dos efeitos da bienalidade característica da produção cafeeira, baseando-se em um sistema de podas que visa zerar a produção da safra baixa favorecendo uma safra alta e mais econômica a cada dois anos. A propriedade adota práticas de produção certificada através da Rainforest Alliance, Certifica Minas, UTZ e 4C.

3.3 Inventário e Análises

Os dados utilizados foram coletados entre abril e maio de 2019 e as avaliações baseadas nas idades de 6, 8, 9 e 10 anos das árvores, sendo mensuradas 60 árvores de cada idade.

Primeiramente realizou-se um inventário de todos os indivíduos arbóreos selecionados. A circunferência à 1,30 m de altura foi mensurada com fita métrica, a altura total (*Ht*) com Hipsômetro Vertex e a altura comercial (*Hc*) com vara métrica, sendo que para determinação da *Hc* foi considerada a primeira bifurcação do fuste como referência.

Com base nesses dados foi possível definir as classes de diâmetro para cada idade, considerando uma amplitude de 2 cm. Feito isso, três árvores de cada classe foram selecionadas para realização de cubagem não destrutiva, sendo que, nas classes com menos de três indivíduos foram cubadas as árvores disponíveis. Foi mensurada a circunferência para obtenção do diâmetro, com uso de fita métrica, nas alturas de 0,0; 0,50; 1,0; 1,30 e 2,0 m. A partir desse ponto o diâmetro do tronco foi determinado pela utilização de um Pentaprisma

de Wheeler, a cada 2,0 m até o final do fuste, o diâmetro mínimo considerado como limite para as medições foi de 7 centímetros.

Para análise da relação hipsométrica foram ajustados dois modelos exponenciais e um modelo potencial. O modelo exponencial 1 (1) é um modelo linear selecionado entre os modelos sugeridos por Campos e Leite (2017) e ajustado através de regressão linear simples no Microsoft Excel. O modelo exponencial 2 (2) e o modelo potencial (3) foram selecionados e ajustados pela utilização do programa *Curve Expert*.

$$H = \exp(\beta_0 + (\beta_1 \text{dap}^{-1}) + \varepsilon \quad (1)$$

$$H = \beta_0 \exp \beta_1 \text{dap}^{-1} + \varepsilon \quad (2)$$

$$H = \beta_0 \text{dap}^{\beta_1} + \varepsilon \quad (3)$$

sendo:

H = altura (m);

dap = diâmetro a 1,3 m de altura (cm);

β_i = parâmetros;

ε = erro aleatório.

A seleção entre os modelos propostos se deu pela avaliação da significância dos parâmetros obtidos em cada ajuste, do coeficiente de correlação entre valores observados e estimados (r) e do erro padrão residual ($Sy.x$), além da análise dos histogramas referentes aos erros relativos percentuais das estimativas.

Selecionado o modelo com os melhores resultados, realizou-se novo ajuste considerando todos os dados coletados, sem distinção de idade, a fim de avaliar a possibilidade de se obter uma equação única, capaz de representar o comportamento do crescimento em altura para qualquer idade.

Para obtenção dos valores de volume das árvores cubadas foi utilizada a fórmula de Smalian (4).

$$V = \frac{AS1 + AS2}{2} L \quad (4)$$

sendo:

V = volume com ou sem casca da seção (m^3);

$AS1$ = área seccional do início da seção (m^2);

$AS2$ = área seccional do final da seção (m^2);

L = comprimento da seção (m).

Em seguida, realizou-se o ajuste do modelo proposto por Shumacher e Hall (5) com objetivo de estimar o volume das demais árvores. Segundo Campos e Leite (2017), esse modelo é um dos mais difundidos, talvez por suas propriedades estatísticas, que quase sempre resultam em estimativas não tendenciosas.

$$V = \beta_0 dap^{\beta_1} Ht^{\beta_2} \varepsilon \quad (5)$$

sendo:

V = volume (m^3);

dap = diâmetro a 1,3 m de altura (cm);

Ht = altura total da árvore, (m);

β_i = parâmetros;

ε = erro aleatório.

Para confirmar a eficácia desse modelo em prever os valores de volume do povoamento estudado, foram avaliados os valores de erro relativo provenientes da comparação dos valores de volume observado das árvores cubadas e respectivos valores de volume, estimados pelo ajuste do modelo de Shumacher e Hall para as mesmas árvores, bem como os gráficos de dispersão. Posteriormente também foram observados os valores de coeficiente de determinação (R^2) obtidos com o ajuste.

Através da soma dos valores de volume obtidos pela fórmula de Smalian para as árvores cubadas e dos valores obtidos pela equação volumétrica para as demais árvores, foi possível obter o volume total de madeira (m^3) para cada idade, considerando os 60 indivíduos mensurados, bem como o volume médio por árvore.

Para melhor compreensão da capacidade produtiva do Cedro-australiano cultivado no entorno dos talhões de cafezais, ou em condições similares, foi determinada a área em hectares (ha) dos talhões cultivados, bem como o comprimento (Km) das vias de acesso que circundam os mesmos. As áreas foram fotointerpretadas e digitalizadas em tela, com base em imagens do Google Earth, em classes de feição do tipo polígonos que permitiram determinar a área dos talhões. O passo seguinte foi obter a linha unifilar central das vias, a partir da qual foi possível determinar o comprimento das mesmas. Esses processos foram realizados com auxílio do software *ArcGis*.

Na Figura 1 estão delimitados os talhões de cafezais circundados pelas árvores avaliadas (azul) e demais talhões pertencentes à mesma propriedade que também tiveram suas áreas calculadas (vermelho).

Figura 1: Delimitação dos talhões de cafeeiros medidos para determinação do comprimento (Km) das vias de acesso por ha de cultivo



De posse desses dados foi possível obter uma relação do comprimento dessas vias ao redor de um ha de cafeeiro cultivado.

Considerando a distância de 3 m entre árvores em fileira única, estimou-se o número de árvores de Cedro-australiano que podem ser cultivadas ao redor de 1 ha de cafeeiro e em 1 Km de via, conforme na Tabela 2.

Tabela 2: Proporção de km de vias de acesso e número de árvores por hectare de cultivo de cafeeiro

Área de cafezal (ha)	Via de acesso (Km)	Número de Árvores
62,64*	23,24*	7.746
1	0,371	123
-	1	333

* Valores obtidos através da medição dos talhões e do comprimento das vias de acesso utilizando o programa ArcGis.

Essas informações, juntamente com os valores de volume obtidos, permitem prever o potencial produtivo de Cedro-australiano por área cultivada de cafeeiro (ha) e por Km de vias de acesso.

Para as análises de afilamento do fuste foram ajustados os modelos de *taper* propostos por Dermaerschalk (1972) (6), Kozak et al. (1969) (7), Ormerod (1973) (8) e Garay (1979) (9), disponíveis em Campos e Leite (2017), a fim de selecionar o mais adequado para gerar as estimativas de diâmetro ao longo do tronco.

$$d = 10^{\beta_0} + dap^{\beta_1} Ht^{2\beta_2} (Ht - h)^{2\beta_3} + \varepsilon \quad (6)$$

$$d = dap \sqrt{\beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h}{Ht}\right) + \beta_2 \left(\frac{h}{Ht}\right)^2} + \varepsilon \quad (7)$$

$$d = \beta_0 \left(\frac{Ht-h}{Ht-1,3}\right)^{\beta_1} + \varepsilon \quad (8)$$

$$d = dap\beta_0 \left(1 + \beta_1 \ln(1 - \beta_2 h^{\beta_3} Ht^{-\beta_3})\right) + \varepsilon \quad (9)$$

sendo:

dap = diâmetro a 1,30 m de altura (cm);

Ht = altura total (m);

d = diâmetro na altura h (cm);

h = altura ao longo do fuste (m);

β_i = parâmetros;

ε = erro aleatório.

Semelhante ao realizado para as equações hipsométricas, a seleção entre os modelos de *taper* se baseou na significância das estimativas dos parâmetros obtidos, na correlação entre as variáveis ($R_{y,\hat{y}}$), na raiz quadrada do erro médio (RQEM) e nas bias.

Finalmente, foi realizada uma análise das estimativas de volume de toras para serraria e também considerando multiprodutos da madeira. Os dados das árvores medidas nas idades 6, 8, 9 e 10 anos foram processados utilizando a equação de afilamento do fuste selecionada visando a quantificação dos sortimentos 1 e 2:

Sortimento 1: toras de 2,4 m de comprimento, com diâmetro mínimo de 25 cm;

Sortimento 2: toras de 1,0 m de comprimento, com diâmetro mínimo de 10 a 25 cm.

A transformação desses sortimentos em multiprodutos de madeira serrada foi feita pela aplicação de um algoritmo de programação dinâmica implementado no software livre *SigmaE*, seguindo as premissas determinadas abaixo e considerando seis tamanhos de tora

que foram determinados com base nos valores observados provenientes do inventário e da cubagem.

- Espessuras de corte: 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5 e 6,0 cm;
- Larguras: 10,0; 12,0; 14,0; 16,0; 18,0; ...; 30,0 cm;
- Comprimento: 2 m;
- Espessura de corte (serra fita): 4 mm.
- Espessura de corte (serra circular): 4 mm.

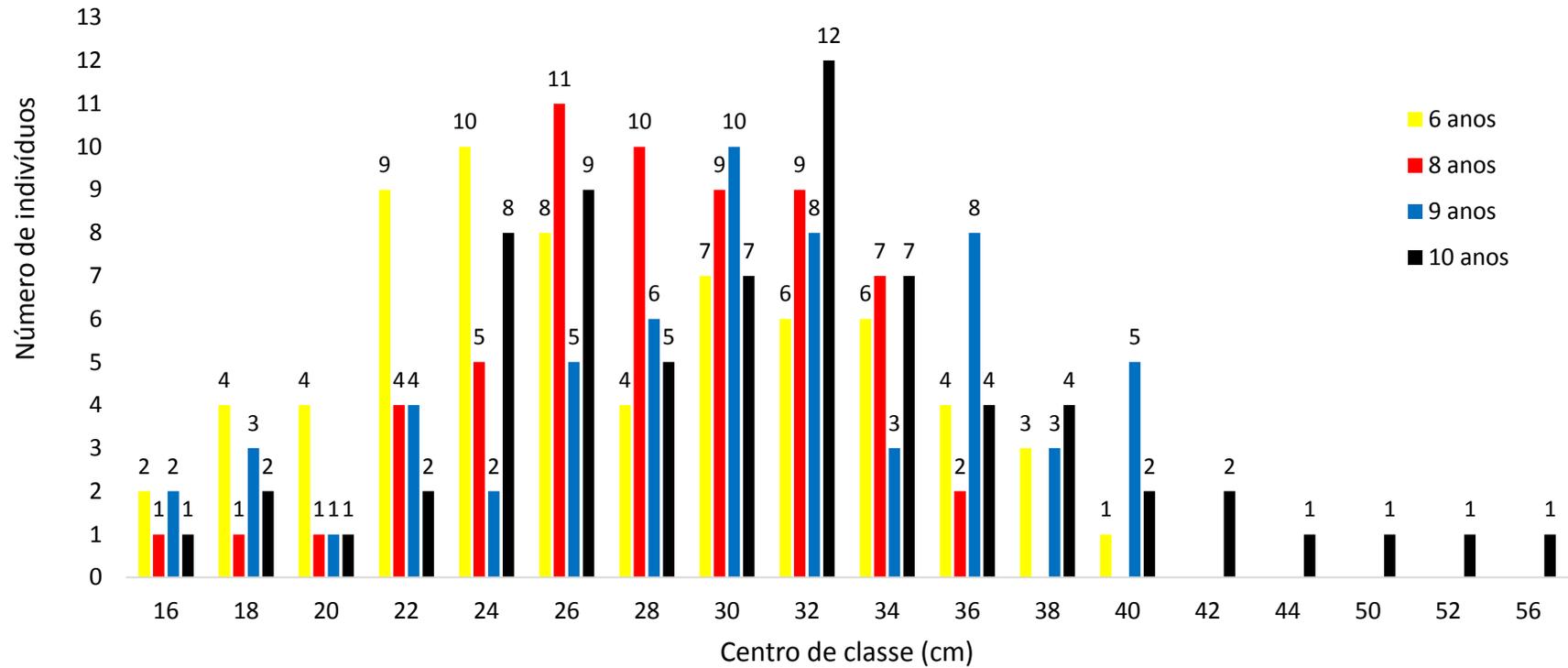
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Distribuição de Diâmetros

A análise da distribuição de diâmetros é uma forma de observar a dinâmica de crescimento do componente arbóreo, bem como da estrutura horizontal do povoamento, tornando possível notar as variações de tamanho das árvores em diferentes idades.

Na Figura 2 são apresentadas informações referentes ao número de indivíduos arbóreos em cada classe de diâmetro observada, nas respectivas idades.

Figura 2: Número de árvores de Cedro-australiano amostradas, por classes de diâmetro, nas idades 6, 8, 9 e 10 anos, em sistema agroflorestal com cafeeiros



Conforme esperado, maiores classes de diâmetro foram observadas nas árvores aos 10 anos de idade, ocorrendo redução dos diâmetros em proporção à redução das idades, coerente com o crescimento da espécie ao longo dos anos. Além disso, em todas as idades observa-se tendência para normalidade, que é o padrão de distribuição esperado para o povoamento.

Baseado nesses dados, foram selecionadas 34, 26, 35 e 37 árvores para realização da cubagem nas idades 6, 8, 9 e 10, anos respectivamente. Na idade 8 observou-se a presença de indivíduos mais uniformes, com menor variação de *dap* e altura entre as 60 árvores analisadas, conseqüentemente, esse tratamento apresentou menos classes de diâmetro e menor número de árvores foram cubadas.

4.2 Relação Hipsométrica

A partir do ajuste dos modelos 1, 2 e 3 foram obtidas as estimativas dos parâmetros e estatísticas apresentados na Tabela 3, que em conjunto com a análise dos gráficos das Figuras 3 e 4, permitiu a seleção do modelo mais adequado.

Tabela 3: Estimativas dos parâmetros e valores de coeficiente de correlação (r) e erro padrão residual (Sy.x) de cada modelo hipsométrico ajustado, para Cedro-australiano em diferentes idades em sistema agroflorestal com cafeeiros

Idade (ano)	Modelo	β_0	β_1	r	Sy.x
10	Modelo exponencial (1)	3,130288	-13,476136	0,75	1,46
	Modelo exponencial (2)	23,338411	-13,925377	0,75	1,46
	Modelo potencial (3)	2,955118	0,467267	0,76	1,44
9	Modelo exponencial (1)	3,246357	-14,341808	0,70	1,98
	Modelo exponencial (2)	24,290809	-12,454817	0,67	1,96
	Modelo potencial (3)	3,277547	0,463521	0,65	2,00
8	Modelo exponencial (1)	3,089373	-6,854383	0,54	1,38
	Modelo exponencial (2)	21,870612	-6,702623	0,52	1,38
	Modelo potencial (3)	6,763902	0,279811	0,51	1,39
6	Modelo exponencial (1)	2,840137	-8,097980	0,80	1,49
	Modelo exponencial (2)	17,720070	-8,574837	0,80	1,49
	Modelo potencial (3)	2,420307	0,513705	0,80	1,48

Os valores de coeficiente de correlação (r) e erro padrão residual ($S_{x.y}$) obtidos com cada equação não apresentaram variações expressivas dentro de cada idade avaliada, de forma que nenhum dos modelos se destacou dos demais baseado apenas na comparação desses dados.

Na análise dos histogramas referentes à porcentagem de erro relativo (Figuras 3 e 4), de maneira geral, quanto maior a concentração de valores próximos a zero, melhor o ajuste da equação.

Figura 3: Porcentagem de casos por classe de erro relativo percentual das estimativas de altura obtidas com as equações relativas aos modelos 1, 2 e 3, para Cedro-australiano com 6 e 8 anos de idade em sistema agroflorestal com cafeeiros

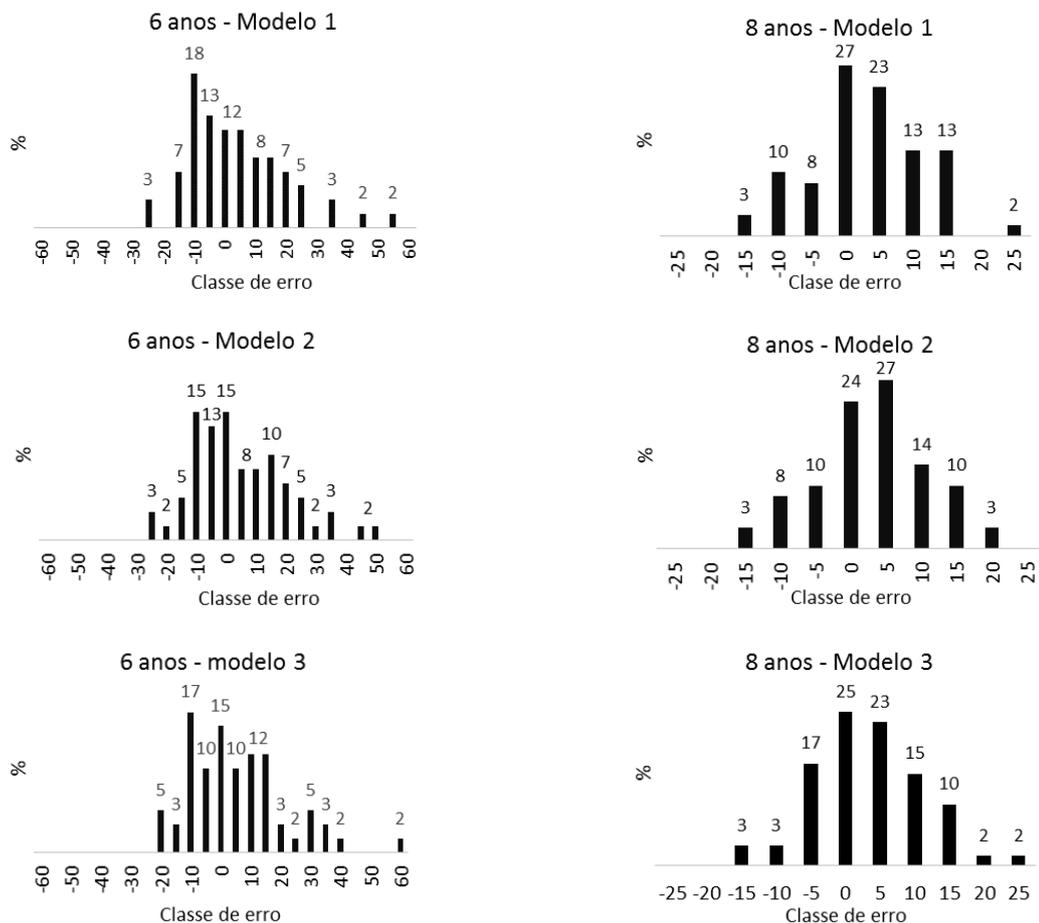
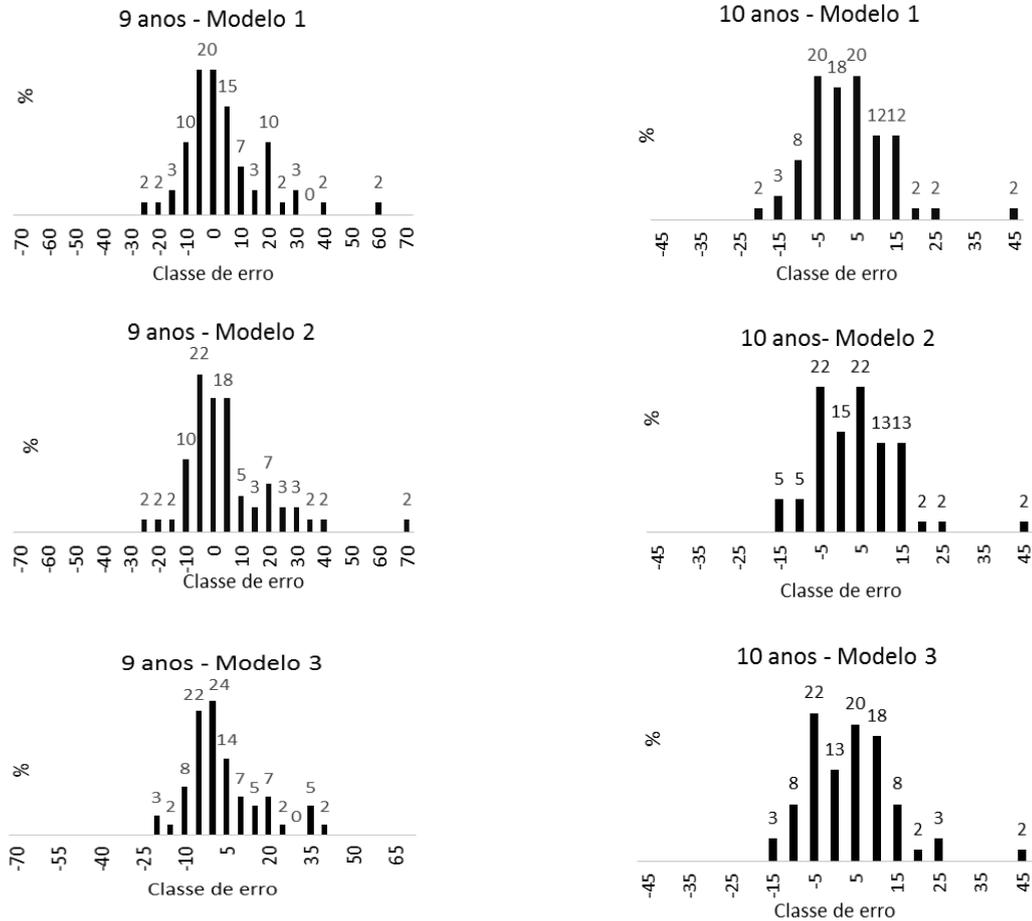


Figura 4: Porcentagem de casos por classe de erro relativo percentual das estimativas de altura obtidas com as equações relativas aos modelos 1, 2 e 3, para Cedro-australiano com 9 e 10 anos de idade em sistema agroflorestal com cafeeiros



Avaliando as estimativas dos parâmetros e os gráficos apresentados, observa-se que os ajustes das três equações foram satisfatórios, apresentando resultados similares, tanto nas análises estatísticas quanto no comportamento dos gráficos. Sendo assim, optou-se por selecionar o Modelo 2, não linear, para estimar a altura das árvores, em todas as idades avaliadas, considerando que a relação entre dap e H tende a apresentar naturalmente comportamento exponencial.

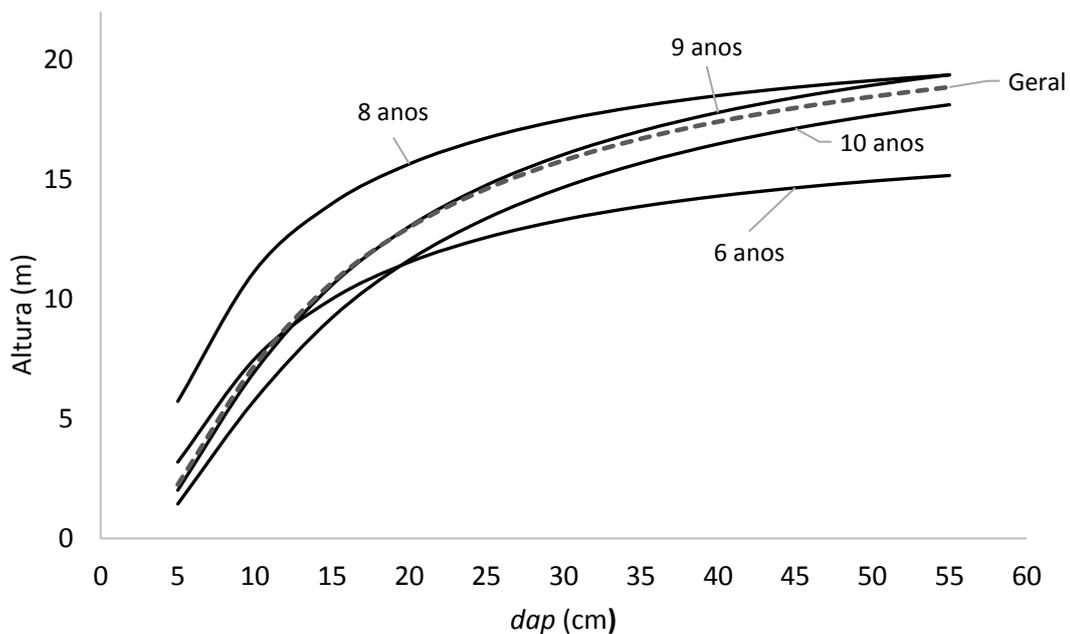
Uma vez selecionado, o Modelo 2 foi ajustado novamente considerando o banco de dados de todas as idades, a fim de avaliar a possibilidade de se realizar um ajuste único para diferentes idades, resultando em uma equação geral que poderia ser usada para essa espécie. Na Tabela 4 seguem as estimativas dos parâmetros e estatísticas obtidas para esse cenário.

Tabela 4: Estimativas dos parâmetros e valores de coeficiente de correlação (r) e erro padrão residual (sx.y) do modelo hipsométrico 2, ajustado para Cedro-australiano em sistema agroflorestal com cafeeiros, considerando os dados de todas as idades

	Modelo	β_0	β_1	r	Ry. x
Geral	Modelo (2)	23,320435	-11,70	0,75	2,10

O valor mais elevado do erro padrão residual indica que esse ajuste único apresentou resultados inferiores aos dos ajustes realizados de forma específica para cada idade. Na Figura 5 estão ilustradas as relações entre *dap* e altura obtidas através dos ajustes individuais e do ajuste para todas as idades em conjunto.

Figura 5: Comportamento da relação entre altura estimada e *dap* obtida pelo ajuste do modelo hipsométrico 2, para Cedro-australiano em sistema agroflorestal com cafeeiros, para cada idade e para todas as idades em conjunto (geral)



Observa-se que a relação $H = f(dap)$ dos valores obtidos pelo ajuste geral não representa o comportamento dessa relação observado em todas as idades avaliadas. O ajuste único se assemelha muito ao padrão observado nas idades 9 e 10 anos, porém se fosse usado para determinar as alturas nas idades 6 e 8 anos os resultados obtidos não seriam fiéis ao padrão observado, sendo subestimados na idade 8 e superestimados na idade 6. Dessa forma, para análise da relação hipsométrica do componente arbóreo em condições semelhantes à

desse trabalho, o ideal é realizar o ajuste do modelo selecionado, de forma individual, de modo a obter uma equação específica para estimar a altura das árvores em cada idade.

4.3 Relação Volumétrica

Na Tabela 5 são apresentados os volumes obtidos pela aplicação da fórmula de Smalian (volume observado) e pelo ajuste do modelo de Shumacher e Hall (volume estimado) para as árvores cubadas, bem como o erro relativo proveniente dessa relação, para cada idade avaliada.

Tabela 5: Volume (m³) das árvores cubadas, observado (Smalian) e estimado (Shumacher e Hall), com respectivos valores de erros relativo, para Cedro-australiano em sistema agroflorestal com cafeeiros, em diferentes idades, considerando altura total e altura comercial

Altura total			
Idade (ano)	V observado (m³)	V estimado (m³)	Erro relativo
6	6,14	6,16	0,323
8	10,96	10,85	-0,959
9	16,98	16,90	-0,489
10	23,85	23,98	0,543
Altura comercial			
6	4,73	4,70	-0,741
8	8,61	8,58	-0,365
9	14,55	14,45	-0,718
10	18,07	18,13	0,338

Em acréscimo aos dados apresentados na Tabela 5, também foram analisados os gráficos das Figuras 6 e 7, que mostram a relação entre esses mesmos valores de volume observados e estimados, considerando altura total e comercial.

Figura 6: Relação entre volume observado e estimado de árvores de Cedro-australiano em sistema agroflorestal com cafeeiros, considerando altura total, em diferentes idades

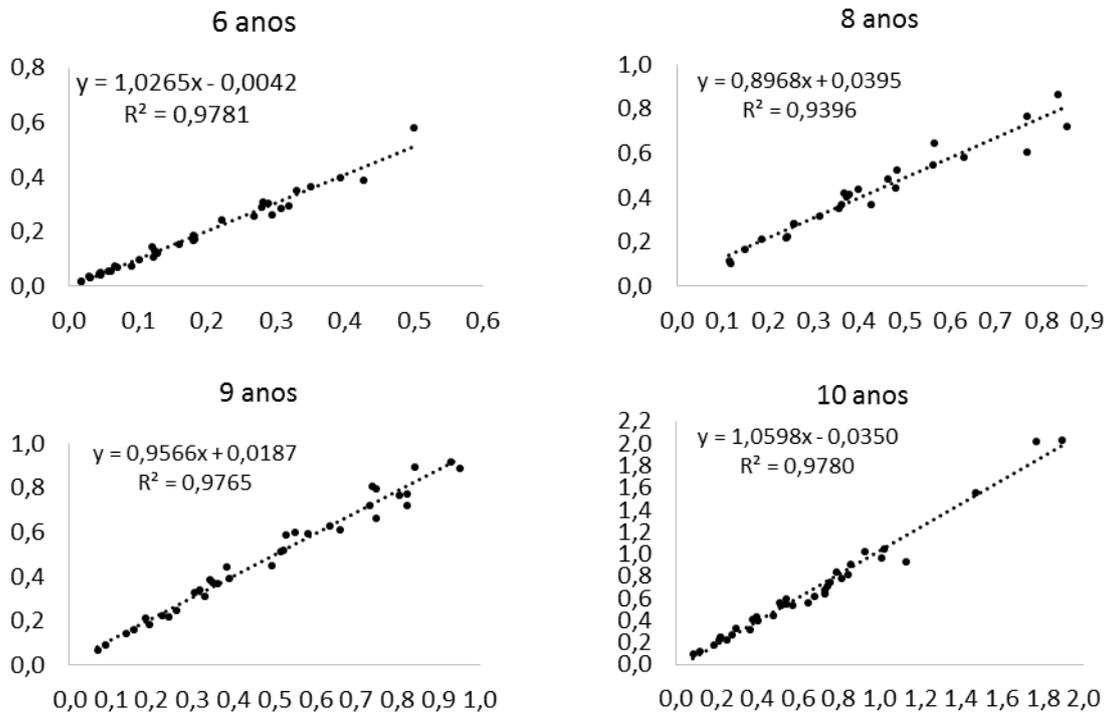
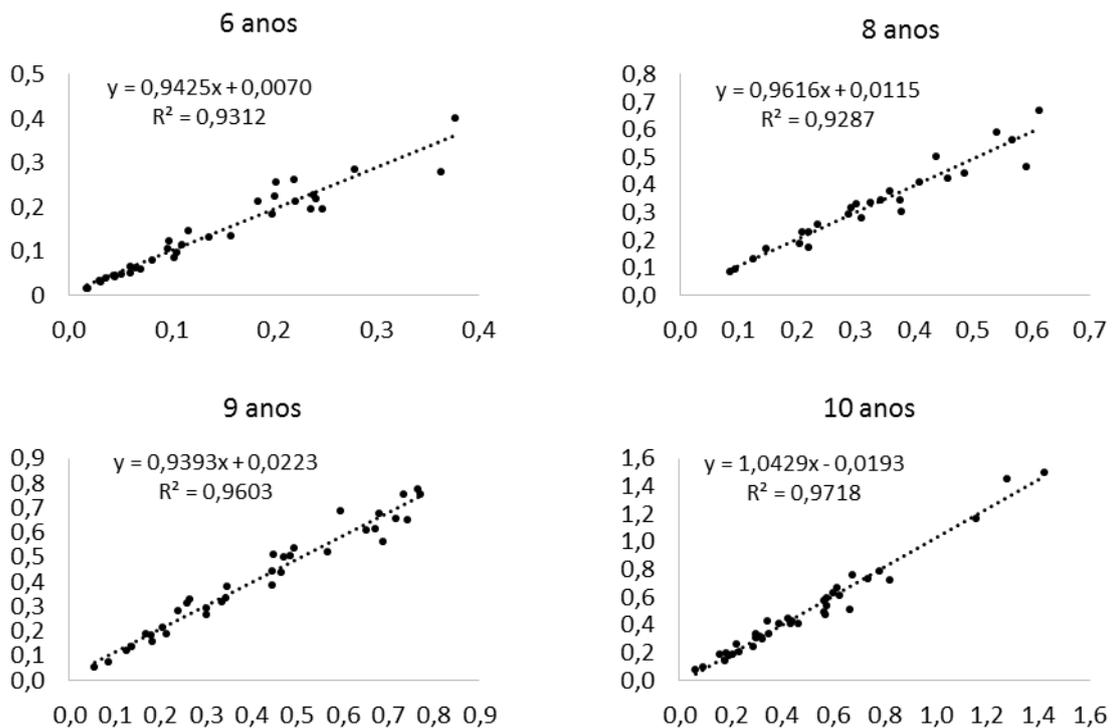


Figura 7: Relação entre volume observado e estimado de árvores de Cedro-australiano em sistema agroflorestal com cafeeiros, considerando altura comercial, em diferentes idades

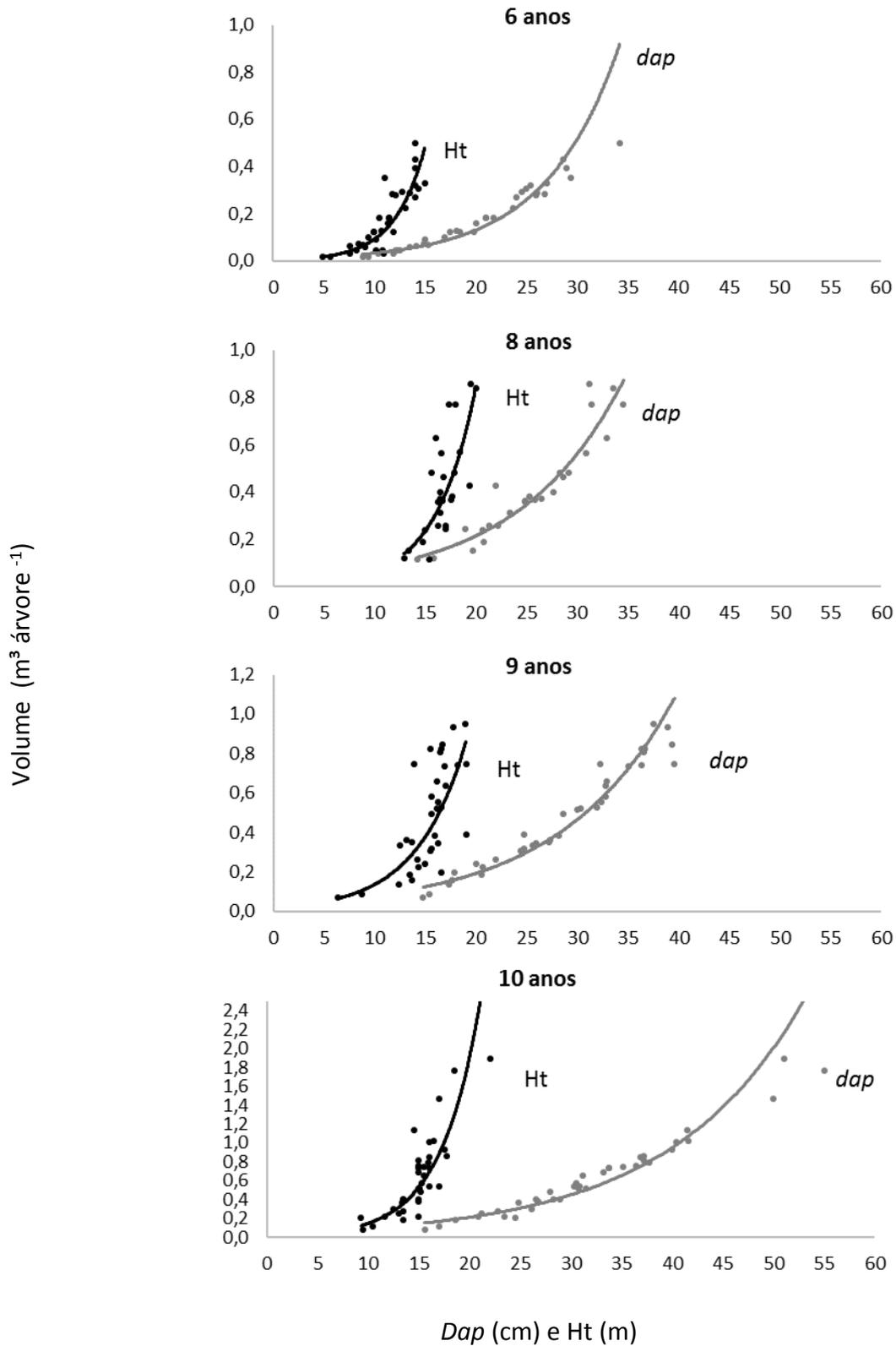


Os valores de erro relativo percentual se mantiveram próximos de zero, em todas as idades, tanto para altura total quanto para altura comercial. Isso indica que não houve grandes diferenças ao considerar os valores de volume observados e estimados, confirmando que o ajuste do modelo proposto por Shumacher e Hall é indicado para estimar o volume das árvores em situações semelhantes às desse trabalho.

Pela análise dos gráficos das Figuras 6 e 7, observa-se tendência dos mesmos em apresentar inclinação próxima de 45° , indicativo de que os valores observados e estimados foram semelhantes. Além disso, em todos os casos, os valores do coeficiente de determinação (R^2) obtidos foram superiores a 0,90, o que também confirma a qualidade do ajuste desse modelo.

De posse dos valores de volume observado e volume estimado das árvores cubadas, bem como dos valores de altura e *dap* coletados no inventário, foi possível observar a relação entre essas variáveis. Na Figura 8 as linhas de tendência representam as relações de *dap* e *Ht* com o volume estimado através do modelo de Shumacher e Hall, enquanto as nuvens de pontos representam essas mesmas relações, porém com os valores de volume obtidos através da cubagem e da aplicação da fórmula de Smalian.

Figura 8: Relação das variáveis altura total (Ht) e *dap* com volume estimado e observado (referentes à altura total), por árvore de Cedro-australiano em sistema agroflorestal com cafeeiros, em diferentes idades



Os resultados da Figura 8 confirmam a consistência das estimativas de volume que foram geradas através da equação obtida pelo ajuste do modelo de Shumacher e Hall, em relação aos valores de *dap* e *Ht* observados, uma vez que as linhas de tendência e as nuvens de pontos seguem o mesmo padrão de comportamento, apresentando valores próximos.

Na Tabela 6 são apresentadas as estimativas dos parâmetros e coeficientes de determinação obtidos pelo ajuste do modelo de Shumacher e Hall para cada idade, considerando altura total e comercial.

Tabela 6: Estimativas dos parâmetros e valores de coeficiente de determinação obtidos pelo ajuste do modelo de Shumacher e Hall para estimativa do volume de madeira de Cedro-australiano em sistema agroflorestal com cafeeiros, em diferentes idades, considerando alturas total e comercial

Altura total				
Idade (ano)	β_0	β_1	β_2	R²
6	-9,892890	2,305640	0,456653	0,990
8	-11,628685	1,883041	1,624109	0,966
9	-9,387123	1,990690	0,697519	0,977
10	-9,768529	1,980417	0,868772	0,971
Altura comercial				
6	-9,278938	2,035556	0,444328	0,975
8	-11,597793	1,741286	1,695575	0,959
9	-9,428259	1,962325	0,691234	0,977
10	-9,563139	1,992326	0,678725	0,971

Os ajustes do modelo apresentaram valores de coeficiente de determinação satisfatórios para as idades avaliadas, uma vez que permaneceram próximos de 1, confirmando a exatidão dos valores de volume estimados.

A partir dos parâmetros da Tabela 6 foi possível estimar o volume das demais árvores de cada idade, esses valores somados aos valores de volume obtidos pela cubagem geram a estimativa de volume total das sessenta árvores avaliadas em cada idade e, conseqüentemente, a estimativa de volume médio por árvore, conforme Tabela 7.

Tabela 7: Volumes total e médio (m³) estimados para Cedro-australiano em sistema agroflorestal com cafeeiros, em diferentes idades, considerando alturas total e comercial

Idade (ano)	V cubagem (m³)	V SH (m³)	V total (m³)	V médio (m³/árvore) *
Altura total				
6	6,1491	3,05961	9,2087	0,1535
8	10,9642	15,4918	26,4561	0,4409
9	16,9830	14,7969	31,7800	0,5297
10	23,8571	11,4705	35,3276	0,5888
Altura comercial				
6	4,7353	1,6023	6,3376	0,1056
8	8,6133	2,5843	11,1976	0,1866
9	14,5580	7,8659	22,4239	0,3737
10	18,0720	5,3605	23,4325	0,3905

V SH = volume estimado pelo ajuste do modelo de Shumacher e Hall;

* média considerando as 60 árvores mensuradas em cada idade.

Como avaliado após o cálculo da área dos talhões dos cafezais e do comprimento das vias de acesso ao redor dos mesmos, observa-se que no entorno de cada hectare cultivado é possível implantar 123 árvores, considerando um espaçamento de 3 m entre elas.

A determinação do arranjo espacial das árvores em sistemas agroflorestais com cafeeiros não tem um padrão definido, encontrando-se na literatura variados valores de densidade do componente arbóreo, inclusive próximos ou ainda menores que o observado no presente trabalho (PEZZOPANE et al., 2010; JARAMILLO-BOTERO et al., 2006; SOUZA et al., 2010; ALVARENGA et al., 2004). Existe um consenso de que em menores densidades o componente arbóreo tende a influenciar menos a produção dos cafeeiros, favorecendo o equilíbrio produtivo do sistema. Além disso, no caso de um plantio no entorno dos talhões de cafezais, existe a tendência de que a competição por recursos de crescimento entre os componentes do sistema de produção seja reduzida, bem como os possíveis danos que as atividades de manejo e corte das árvores podem causar aos cafeeiros.

Com base nos dados obtidos foi possível estimar a produção (m³ ha⁻¹) do Cedro-australiano para cada idade. Além disso, foi possível calcular a estimativa de produção tomando 1 km de via como base, ao longo do qual é possível cultivar 333 árvores considerando a distância de 3 m entre elas.

Esses dados proporcionam ao produtor uma perspectiva mais consistente do potencial da produção madeireira de Cedro-australiano em arranjo similar ao estudado. Nos resultados

apresentados nas Tabelas 8 e 9, as estimativas de produção foram calculadas considerando que o Cedro-australiano será cultivado em fileira única em apenas um dos lados das vias.

Tabela 8: Produção estimada de madeira de Cedro-australiano em sistema agroflorestal com cafeeiros, em diferentes idades, considerando altura total e comercial, por hectare de cafeeiro cultivado

Idade (ano)	Altura total		Altura comercial	
	Média (m ³ árvore ⁻¹)	Volume (m ³ ha ⁻¹) *	Média (m ³ árvore ⁻¹)	Volume (m ³ ha ⁻¹) *
6	0,1535	18,8805	0,1056	12,9888
8	0,4409	54,2307	0,1866	22,9518
9	0,5297	65,1531	0,3737	45,9651
10	0,5888	72,4224	0,3905	48,0315

* m³ de madeira por hectare de cafeeiro cultivado.

Tabela 9: Produção estimada de madeira de Cedro-australiano em sistema agroflorestal com cafeeiros, em diferentes idades, considerando altura total e comercial, por quilômetro de vias de acesso

Idade (ano)	Altura total		Altura comercial	
	Média (m ³ árvore ⁻¹)	Volume (m ³ km ⁻¹) *	Média (m ³ árvore ⁻¹)	Volume (m ³ km ⁻¹) *
6	0,1535	51,1155	0,1056	35,1648
8	0,4409	146,8197	0,1866	62,1378
9	0,5297	176,3901	0,3737	124,4421
10	0,5888	196,0704	0,3905	130,0365

* m³ de madeira por Km de vias de acesso.

As equações de volume obtidas pela utilização das estimativas dos parâmetros da Tabela 6 podem ser utilizadas em dados de inventários realizados em condições semelhantes a do presente estudo. Para essa mesma área de estudo, também é possível aplicar a equação do tratamento de 10 anos, para estimar o volume em idades subsequentes. Nesses casos é importante atualizar os coeficientes das equações anualmente através da ampliação do banco de dados utilizado, pela cubagem de três árvores em novas classes de diâmetro que possam surgir. Esse tipo de complementação é sugerido por Campos e Leite (2017).

4.4 Forma do Fuste

As estimativas dos parâmetros obtidas pelos ajustes dos quatro modelos de *Taper*, bem como as estimativas do coeficiente de correlação ($R_{y\hat{y}}$), bias e raiz quadrada do erro

médio (RQEM) são apresentadas na Tabela 10, para ajustes realizados com alturas total e comercial.

Tabela 10: Estimativas dos parâmetros e valores de correlação, bias e raiz quadrada do erro médio obtidos pelo ajuste dos modelos de *Taper*, para Cedro-australiano em sistema agroflorestal com cafeeiros, em diferentes idades, considerando alturas total e comercial

Idade (ano)	Modelo	β_0	β_1	β_2	β_3	Ry \hat{y}	bias (d)	RQEM (d)
Altura total								
6	Demaerschalk	0,258187	0,984486	-0,549556	0,469062	0,979	-0,010	1,482
	Kozak	1,333060	-2,500851	1,124381	0,500000	0,974	-0,175	1,615
	Ormerod	1,200000	0,901906	0,800000	0,500000	0,974	-0,620	1,634
	Garay	1,250775	0,233671	1,049414	0,264539	0,972	-0,177	1,686
8	Demaerschalk	1,083806	1,723410	-1,287095	0,462878	0,425	-0,147	21,111
	Kozak	1,570314	-3,135982	1,628167	0,500000	0,408	0,089	21,298
	Ormerod	1,200000	0,729743	0,800000	0,500000	0,386	-2,158	21,514
	Garay	1,353189	0,222470	1,023031	0,216110	0,395	0,122	21,428
9	Demaerschalk	0,188682	1,018581	-0,508414	0,441605	0,971	-0,047	2,438
	Kozak	1,303674	-2,430965	1,135913	0,500000	0,971	-0,063	2,451
	Ormerod	1,200000	0,816869	0,800000	0,500000	0,964	-0,900	2,712
	Garay	1,269136	0,348347	0,954903	0,312971	0,980	-0,058	2,023
10	Demaerschalk	0,250991	0,977925	-0,470951	0,402483	0,973	-0,069	2,683
	Kozak	1,294184	-2,287744	1,003852	0,500000	0,972	-0,196	2,754
	Ormerod	1,200000	0,744612	0,800000	0,500000	0,966	-1,096	3,019
	Garay	1,244329	0,374300	0,929368	0,359116	0,978	-0,197	2,415
Altura comercial								
6	Demaerschalk	0,217613	0,997146	-0,428876	0,354571	0,984	-0,005	1,201
	Kozak	1,357473	-3,359716	4,215565	0,500000	0,986	-0,144	1,132
	Ormerod	1,200000	0,675410	0,800000	0,500000	0,977	-0,812	1,466
	Garay	1,210400	2,217968	0,201359	0,455002	0,990	-0,138	0,980
8	Demaerschalk	0,017334	1,022980	-0,396576	0,396906	0,953	-0,013	2,093
	Kozak	1,335973	-3,328287	3,543266	0,500000	0,961	0,036	1,905
	Ormerod	1,200000	0,678369	0,800000	0,500000	0,935	-1,035	2,457
	Garay	1,268034	0,256143	0,953268	0,215541	0,981	0,027	1,344
9	Demaerschalk	0,166992	1,024412	-0,497260	0,435585	0,960	-0,034	2,506
	Kozak	1,350616	-3,242747	2,730342	0,500000	0,966	-0,017	2,320
	Ormerod	1,200000	0,782886	0,800000	0,500000	0,949	-1,109	2,838
	Garay	1,272564	0,486227	0,794105	0,332075	0,980	-0,031	1,809
10	Demaerschalk	0,210100	0,993902	-0,451977	0,389869	0,969	-0,012	2,469
	Kozak	1,359171	-3,691841	4,411238	0,500000	0,978	-0,087	2,123
	Ormerod	1,200000	0,678841	0,800000	0,500000	0,957	-1,368	2,925
	Garay	1,255217	2,602099	0,192574	0,388541	0,988	-0,101	1,565

De maneira geral, os resultados dos ajustes não variaram muito dentro de cada idade, com pequenas diferenças entre os modelos. Dessa forma, optou-se por selecionar o modelo de Garay, com base na correlação entre diâmetros observados e estimados e na raiz quadrada do erro quadrático médio, aliado ao fato de se tratar de um modelo bastante consistente, conforme Campos e Leite (2017).

Para análise da produção de madeira em função dos sortimentos 1 e 2 propostos na metodologia, foram empregadas as equações (10) e (11), ambas obtidas por transformação do modelo de Garay:

$$\hat{d} = dap\hat{\beta}_0(1 + \hat{\beta}_1 \text{Ln}(1 - \hat{\beta}_2 h^{\hat{\beta}_3} H^{-\hat{\beta}_3})) \quad (10)$$

$$\hat{h} = H \left((-\exp((d - dap\hat{\beta}_0)(dap\hat{\beta}_0\hat{\beta}_1)^{-1}) - 1)\hat{\beta}_2^{-1} \right)^{1/\hat{\beta}_3} \quad (11)$$

sendo:

d = diâmetro na altura h (cm);

H = altura total (m);

β_i = parâmetros.

As equações de afilamento de Garay obtidas através das estimativas dos parâmetros apresentadas na Tabela 10 são indicadas para quantificação do sortimento de madeira, sendo possível utilizar essas equações de acordo com o sortimento desejado.

Na Tabela 11 são apresentadas as estimativas de produção em toras para os sortimentos 1 e 2, obtidas pela aplicação do modelo de Garay. Além disso, são apresentadas também as estimativas de volume total para cada idade, o número de toras obtidas para cada sortimento e o volume total considerando as 240 árvores avaliadas.

Tabela 11: Estimativas de madeira serrada e número de toras correspondentes aos sortimentos 1 e 2, e volume total*, estimados com equação de *taper*, para 60 árvores de Cedro-australiano em sistema agroflorestral com cafeeiros, em diferentes idades

Idade (ano)	Nº de Toras		Volume de madeira serrada (m³)			Volume total (m³)*
	S1	S2	S1	S2	S1+S2	
6	9	311	1,44	6,61	8,06	9,80
8	71	550	12,23	14,01	26,24	29,89
9	81	493	16,19	11,59	27,78	32,11
10	88	469	19,52	11,24	30,76	34,72
Total			49,38	43,45	92,83	106,52

S – Sortimento de madeira;

* - Referente às sessenta árvores amostradas.

Na Tabela 12, são apresentados os resultados referentes ao rendimento de cada sortimento, em relação ao volume total, bem como o rendimento total dos dois sortimentos em conjunto.

Tabela 12: Rendimentos de desdobro otimizados correspondentes aos sortimentos de madeira 1 e 2, obtidos com equação de *taper*, para Cedro-australiano em sistema agroflorestal com cafeeiros, em diferentes idades

Idade (ano)	Volume de madeira serrada (m ³)			V total (m ³)	Rendimento de desdobro otimizado (%)		
	S1	S2	S1+S2		S1	S2	S1+S2
6	1,44	6,61	8,06	9,80	14,74	67,46	82,20
8	12,23	14,01	26,24	29,89	40,91	46,86	87,77
9	16,19	11,59	27,78	32,11	50,42	36,09	86,51
10	19,52	11,24	30,76	34,72	56,23	32,37	88,60
Média					46,36	40,79	87,15

S - Sortimento de madeira.

Os resultados de volume total obtidos pelo modelo de afilamento do fuste ajustado, diferem dos resultados correspondentes obtidos com a equação de volume por se tratarem de métodos diferentes. Os valores de volume total, para toda a área, obtidos pela aplicação da fórmula de Smalian e ajuste do modelo de Shumacher e Hall foram de 9,21 m³, 26,46 m³, 31,78 m³ e 35,32 m³ para as idades 6, 8, 9 e 10 anos, respectivamente, totalizando um volume de 102,86 m³ considerando as 240 árvores avaliadas.

O aproveitamento dos sortimentos 1 e 2 corresponde a 87,15% da produção total estimada pelo modelo volumétrico. Dessa forma, considerando o valor de 102,86 m³ estimado para as 240 árvores, 89,64 m³ será a estimativa de volume obtido com as toras destinadas a esses sortimentos, ou seja, que podem ser aproveitados em madeira destinada à serraria.

De acordo com os rendimentos da Tabela 12 e com as estimativas de produção calculadas por ha de cultivo de cafeeiro, foi estimada a produção por ha referente aos sortimentos 1 e 2, conforme apresentado na Tabela 13.

Tabela 13: Estimativas de produção de madeira serrada, considerando 1 ha de cafeeiro cultivado, conforme rendimentos otimizados de desdobro dos sortimentos 1 e 2, para Cedro-australiano em sistema agroflorestal com cafeeiros, em diferentes idades

Idade (ano)	Volume (m ³ ha ⁻¹)*	Rendimento de desdobro otimizado (%)		Volume de madeira serrada (m ³ ha ⁻¹)*		
		S1	S2	S1	S2	S1 + S2
6	18,88	14,74	67,46	2,78	12,74	15,52
8	54,23	40,91	46,86	22,18	25,41	47,59
9	65,15	50,42	36,09	32,85	23,52	56,37
10	72,42	56,23	32,37	40,72	23,44	64,16
Total	210,69	-	-	98,54	85,11	183,64

* m³ ha⁻¹ de cafeeiro cultivado (valores conforme calculado na Tabela 8);

S – Sortimento de madeira.

Nos ajustes para os indivíduos com 8 anos de idade, os valores estatísticos obtidos não foram tão bons como os obtidos para as demais idades. Isso se deve ao fato de que, as árvores desse grupo apresentaram pouca variação nos valores de altura de árvores pertencentes à diferentes classes de diâmetro, bem como menor variação dessas classes. Dessa forma, para se obter o comportamento de afilamento do fuste nessa idade, em situações semelhantes às desse trabalho, o mais indicado é aplicar a equação ajustada para a idade 9.

Utilizando o módulo serraria do software *Sigma E* (Campos e Leite, 2017), considerando o objetivo de maximizar o rendimento, e os seis tamanhos de tora determinados na Tabela 14, obteve-se os resultados apresentados nas Figuras 9 e 10.

Tabela 14: Medidas das toras consideradas na análise de multiprodutos visando desdobro otimizado da madeira de Cedro-australiano em sistema agroflorestal com cafeeiros

Tora	Comprimento (m)	Diâmetro 1 (cm)	Diâmetro 2 (cm)
1	2	15,0	13,5
2	2	20,0	18,0
3	2	25,0	22,5
4	2	30,0	27,0
5	2	35,0	31,5
6	2	40,0	36,0

Figura 9: Otimização de corte para serraria considerando os diâmetros definidos para as toras 1, 2 e 3

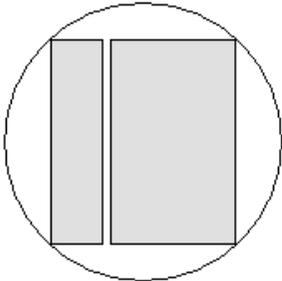
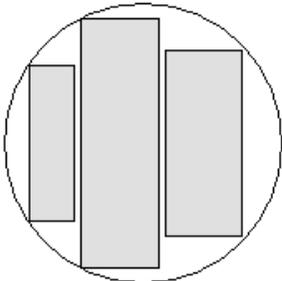
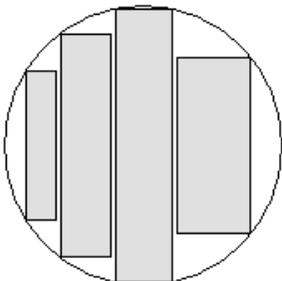
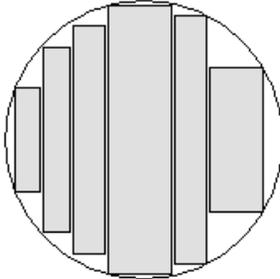
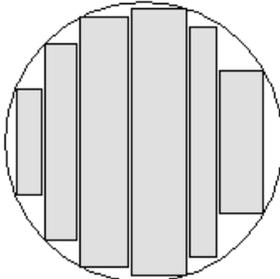
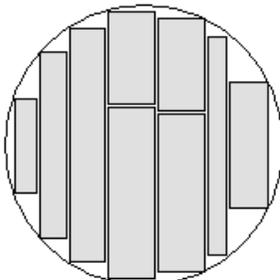
Estrutura Ótima de Corte para Serraria								OE 2.0	
Emitido em: 12/01/2020 [22:44:56]								Copyright 2007 by SIF/DEF/UFV	
Tora n°	Comp. (cm)	DSC2 (cm)	DSC1 (cm)	VTSC (m²)	VREC (m²)	Lucro (US\$)	Rend.	Esquema	Produtos: Estrutura ótima de corte (Espessura mm x Largura mm x Comprimento mm)
1	2	15,0	13,5	0,0003	0,0002	0,04	53,1		25 x 100 x 20 60 x 100 x 20
2	2	20,0	18,0	0,0006	0,0003	0,06	59,8		30 x 100 x 20 50 x 160 x 20 50 x 120 x 20
3	2	25,0	22,5	0,0009	0,0006	0,08	64,2		25 x 120 x 20 40 x 180 x 20 45 x 220 x 20 60 x 140 x 20

Figura 10: Otimização de corte para serraria considerando os diâmetros definidos para as toras 4, 5 e 6

Estrutura Ótima de Corte para Serraria								OE 2.0	
Emitido em: 12/01/2020 [22:44:56]								Copyright 2007 by SIF/DEF/UFV	
Tora n°	Comp. (cm)	DSC2 (cm)	DSC1 (cm)	VTSC (m²)	VREC (m²)	Lucro (US\$)	Rend.	Esquema	Produtos: Estrutura ótima de corte (Espessura mm x Largura mm x Comprimento mm)
4	2	30,0	27,0	0,0013	0,0009	0,12	67,8		25 x 100 x 20 25 x 180 x 20 30 x 220 x 20 60 x 260 x 20 30 x 240 x 20 50 x 140 x 20
5	2	35,0	31,5	0,0017	0,0012	0,12	69,5		30 x 120 x 20 35 x 220 x 20 55 x 280 x 20 60 x 300 x 20 30 x 260 x 20 50 x 160 x 20
6	2	40,0	36,0	0,0023	0,0016	0,18	70,4		30 x 120 x 20 35 x 240 x 20 45 x 300 x 20 60 x 120 x 20 60 x 120 x 20 25 x 280 x 20 50 x 160 x 20 60 x 220 x 20 60 x 200 x 20

A realização de uma análise de multiprodutos é interessante em casos onde exista a possibilidade de serrar e vender a madeira em diferentes dimensões.

Nas Figuras 9 e 10 é possível observar como o programa simula a “divisão” das toras de forma a obter o maior aproveitamento possível, mesmo nas partes do tronco com menores valores de diâmetro. Dessa forma, o produtor consegue prever as possibilidades de produção e venda da madeira de acordo com as medidas e o tamanho do fuste, informação que pode ser relevante no momento de decisão sobre abater as árvores ou não.

É interessante observar que quanto maior o diâmetro do fuste, maior a variação nos tamanhos das tábuas que serão serradas, exemplificando essa otimização do aproveitamento da madeira e conseqüentemente maior o rendimento obtido com as toras de maior diâmetro.

Neste exemplo foi considerado como objetivo maximizar o rendimento em serraria. O software permite também a maximização do retorno econômico, sendo requerido, nesse caso, o valor de mercado para cada tipo de peça. O *SigmaE* é de natureza livre e pode ser obtido diretamente pelo e-mail hgleite@gmail.com. Com ele, o usuário pode simular diferentes cenários e otimizar o corte na serraria, com classificação prévia das toras no pátio, por classe de diâmetro.

Os resultados finais das estimativas de produção apresentados se referem especificamente à possibilidade de quantificar o volume disponível na área estudada. Isso não quer dizer que o corte dessas árvores seja indicado de forma imediata, uma vez que, principalmente quando se considera a idade 6, as árvores ainda são novas, devendo ser mantidas no sistema agroflorestal visando melhor aproveitamento das mesmas no futuro.

5. CONCLUSÕES

Os modelos hipsométricos devem ser ajustados de forma individual, de modo a se obter uma equação específica para prever a altura dos componentes arbóreos de Cedro-australiano cultivado no entorno de cafezais, com diferentes idades;

O modelo proposto por Shumacher e Hall é indicado para cálculo do volume estimado de árvores de Cedro-australiano cultivadas em condições semelhantes às apresentadas nesse trabalho;

O modelo de *Taper* proposto por Garay é o mais adequado dentre os modelos testados para calcular o afilamento do fuste;

A análise de multiprodutos é capaz de prever o melhor aproveitamento da madeira disponível otimizando as medidas de corte a serem adotadas em serraria.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, A. P.; VALE, R. S.; COUTO, L.; VALE, F. A. F.; VALE, A. B. Aspectos fisiológicos da cultura do café e seu potencial produtivo em sistemas agroflorestais. **Agrossilvicultura**, v. 1, n. 2, p. 195-202, 2004.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ALVES, J. A.; CALEGARIO, N.; ROSADO, S. C. S.; SILVA, G. A.; POSSATO, E. L.; MELO, E. A. Equações hipsométricas para *Toona ciliata* com inclusão de covariantes. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 2, p. 581-595, 2017.

ANDRADE, V. C. L.; LEITE, H. G.; FRANCO, F. S. Equação de razão volumétrica para *Toona ciliata* em sistema agroflorestal na Zona da Mata de Minas gerais. **Revista Árvore**, v.24, n.4, p. 385-388, 2000.

BEER, J.; MUSCHLER, R.; KASS, D.; SOMARRIBA, E. Shade management in coffee and cacao plantations. **Agroforestry Systems**, v. 38, n. 1-3, p. 139-164, 1998.

BRAZ, R. L.; OLIVEIRA, J. T. S.; ARANTES, M. D. C.; RODRIGUES, B. P. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Toona ciliata* em diferentes idades. **Floresta**, v. 43, n. 4, p. 663-670, 2013.

CAMPANHA, M. M.; SANTOS, R. H. S.; FREITAS, G. B.; MARTINEZ, H. E. P.; GARCIA, S. L. R.; FINGER, F. L. Growth and yield of coffee plants in agroforestry and monoculture systems in Minas Gerais, Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 63, n. 1, p. 75-82, 2004.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 4. ed. Viçosa: Editora UFV, 2017. 548p.

CARAMORI, P.H.; KATHOUNIAN, C.A.; MORAIS, H.; LEAL, A.C.; GORRETA, R.; ANDROCIOLI FILHO, A. Arborização de cafezais e aspectos climatológicos. In: MATSUMOTO, S.N. (Org.). **Arborização de cafezais no Brasil**. Vitória da Conquista: Edições Uesb, 2004. p.21-38.

CERDA, R.; ALLINNE, C.; GARY, C.; TIXIER, P.; HARVEY, C. A.; KROLCZYK, L.; MATHIOT, C.; CLÉMENT, E.; AUBERTOT, J.; AVELINO, J. Effects of shade, altitude and management on multiple ecosystem services in coffee agroecosystems. **European Journal of Agronomy**, v. 82, p. 308-319, 2017.

DAMATTA, F. M. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. **Field Crops Research**, v. 86, n. 2-3, p. 99-114, 2004a.

DAMATTA, F. M. Fisiologia do cafeeiro em sistemas arborizados. In: MATSUMOTO, S.N. (Org.). **Arborização de cafezais no Brasil**. Vitória da Conquista: Edições Uesb, 2004b. p. 87-107.

DAMATTA, F. M.; RONCHI, C. P.; MAESTRI, M.; BARROS, R. S. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 4, p. 485-510, 2007.

DAMATTA, F.; RODRÍGUEZ, N. Producción sostenible de cafetales en sistemas agroforestales del Neotrópico: una visión agronómica y ecofisiológica. **Agronomía Colombiana**, v. 25, n. 1, p. 113-123, 2007.

FRANCO, F. S. **Diagnóstico e desenho de sistemas agroflorestais para duas microbacias hidrográficas no município de Araponga, Zona da Mata de Minas Gerais**. 1995. 110 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1995.

JARAMILLO-BOTERO, C.; MARTINEZ, H. E. P.; SANTOS, R. H. S. Características do café (*Coffea arabica* L.) sombreado no norte da América Latina e no Brasil: análise comparativa. **Coffee Science**, v. 1, n. 2, p. 94-102, 2006.

LORENZI, H.; SOUZA, H. M.; TORRES, M. A. V.; BACHER, L. B. **Árvores exóticas no Brasil: madeireiras, ornamentais e aromáticas**. São Paulo: Nova Odessa, 2003. 368p.

MORAIS, H.; MARUR, C. J.; CARAMORI, P. H.; RIBEIRO, A. M. A.; GOMES, J. C. Características fisiológicas e de crescimento de cafeeiro sombreado com guandu e cultivado a pleno sol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 10, p. 1131- 1137, 2003.

MULLER, J. S.; GOMES, M. A.; COUTO, L.; PINHEIRO, A. L.; ALVARENGA, A. P.; LANI, J. L.; VALE, A. B. Sistemas agroflorestais com café (*Coffea arabica* L.) e cedro-australiano (*Toona ciliata* M. Roem. var. *australis* (F. Muell.) Bahadur) na Zona da Mata de Minas Gerais: estudo de caso. **Agrossilvicultura**, v. 1, n. 1, p. 51-60, 2004.

NASSUR, O. A. C.; ROSADO, L. R.; ROSADO, S. C. S.; DE CARVALHO, P. M. Variações na qualidade de toras de *Toona ciliata* M. Roem. com dezoito anos de idade. **Cerne**, v. 19, n. 1, p. 43-49, 2013.

PEZZOPANE, J. R. M.; MARSETTI, M. M. S.; SOUZA, J. M. D.; PEZZOPANE, J. E. M. Condições microclimáticas em cultivo de café conilon a pleno sol e arborizado com noqueira macadâmia. **Ciência Rural**, v.40, n.6, p. 1257-1263, 2010.

RIZZINI, C.T. **Tratado de Fitogeografia do Brasil: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos**. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural Edições Ltda., 1997. 747p.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

SOUZA, H. N.; CARDOSO, I. M.; FERNANDES, J. M.; GARCIA, F. C.; BONFIM, V. R.; SANTOS, A. C.; CARVALHO, A. F.; MENDONÇA, E. S. Selection of native trees for intercropping with coffee in the Atlantic Rainforest biome. **Agroforestry Systems**, v.80, n. 1, p. 1-16, 2010.