



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E
AMBIENTAIS – PPG/CIFA

**RENDIMENTO NO DESDOBRO DE TORAS DE *Andira parviflora*
Ducke. EM SERRARIA NA AMAZÔNIA CENTRAL**

CRISTIAN ROLF PREDIGER

MANAUS - AM
JANEIRO - 2019



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E
AMBIENTAIS – PPG/CIFA

**RENDIMENTO NO DESDOBRO DE TORAS DE *Andira parviflora*
Ducke. EM SERRARIA NA AMAZÔNIA CENTRAL**

Orientador: Dr. NABOR DA SILVEIRA PIO

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Faculdade de Ciências Agrárias e Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Amazonas como requisito para obtenção do título de mestre em ciências florestais e ambientais.

MANAUS - AM
JANEIRO – 2019

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Prediger, Cristian Rolf

P923r Rendimento no Desdobro de Toras de *Andira parviflora* Ducke.
em Serraria na Amazônia Central / Cristian Rolf Prediger. 2019
54 f.: il.; 31 cm.

Orientador: Nabor da Silveira Pio

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) -
Universidade Federal do Amazonas.

1. madeira tropical. 2. subprodutos de madeira. 3. Sucupira-
Vermelha. 4. modelos matemáticos. I. Pio, Nabor da Silveira II.
Universidade Federal do Amazonas III. Título

CRISTIAN ROLF PREDIGER

MODELAGEM DO RENDIMENTO NO DESDOBRO
DE TORAS DE *Andira parviflora* Ducke.(SUCUPIRA-
VERMELHA) EM SERRARIA NA AMAZÔNIA
CENTRAL

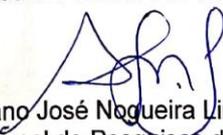
Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Ciências
Florestais e Ambientais da
Universidade Federal do Amazonas,
como requisito para obtenção do título
de Mestre em Ciências Florestais e
Ambientais, área de concentração em
Ciências Florestais e Ambientais.

Aprovada em 31 de janeiro de 2019

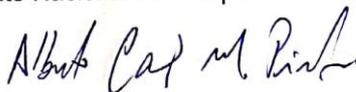
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Nabor da Silveira Pio- Presidente
Universidade Federal do Amazonas



Prof. Dr. Adriano José Nogueira Lima - Membro
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia



Prof. Dr. Alberto Carlos Martins Pinto - Membro
Universidade Federal do Amazonas

RESUMO

A utilização dos recursos florestais madeireiros amazônicos de forma sustentável tem relação intrínseca com o seu rendimento e aproveitamento de toras em serrarias. É de grande importância para a gestão de indústrias madeireiras o conhecimento sobre o rendimento, por meio dele pode-se otimizar a produção de madeira serrada. O objetivo deste estudo foi determinar o rendimento percentual no processo de desdobro de toras de *Andira parviflora* Ducke. (Sucupira-Vermelha)., verificar possíveis diferenças de rendimento entre classes de diâmetro, verificar a geração de subprodutos percentual oriundos do processo de desdobro e ajustar modelos matemáticos para estimar o rendimento futuro em madeira serrada. Foram amostradas 56 toras e agrupadas em 4 classes de diâmetro representadas pelos números 1, 2, 3 e 4. Para cálculo do volume das toras foi realizada a cubagem rigorosa pelo método de Smalian, em seguida foi calculado o volume de madeira serrada para posteriormente determinar o rendimento e volume de resíduos gerados no processamento mecânico das toras. O rendimento médio em madeira serrada no desdobro de toras de *Andira parviflora* Ducke. foi de 29,52% com intervalo de confiança de $\pm 1,12\%$ e apresentou diferenças estatísticas somente entre a classe diamétrica 1 em relação às demais classes estudadas. Dentre as 4 classes estudadas, a classe 4 foi a que apresentou o maior valor de rendimento. Foram avaliados 12 modelos matemáticos, 6 lineares e 6 não-lineares, tendo como variável dependente o rendimento em madeira serrada (R) em função das variáveis independentes diâmetro da tora (D), comprimento da tora (L) e volume da tora (Vt). Todas as relações entre as variáveis foram analisadas baseando-se nos valores da correlação de Pearson. A qualidade do ajuste e seleção dos modelos foi baseada no maior coeficiente de determinação ajustado (R^2_{ajust}), menor erro padrão da estimativa ($S_{yx}\%$) e distribuição gráfica homogênea dos resíduos. Entre os modelos testados para estimativa de rendimento em madeira serrada de *Andira parviflora* Ducke., o melhor foi o modelo 4, linear de dupla entrada, porém o modelo 3, linear de simples entrada, também mostrou uma boa qualidade de ajuste. Os modelos não-lineares 7, de simples entrada e 8, de dupla entrada, obtiveram qualidade de ajuste semelhantes aos modelos 3 e 4, sendo estes 4 modelos os mais indicados para estimar o rendimento em madeira serrada de *Andira parviflora* Ducke.

Palavras-chave: madeira tropical, subprodutos de madeira, modelos matemáticos, Sucupira-Vermelha.

ABSTRACT

The sustainable of amazonian forestry wooden resources utilization has an intrinsic relationship with its yield and exploitation of timbers in the sawmill. It is of great importance for the management of this industries the knowledge about the yield, wich allow the optimization of the production of sawn wood. The objective of this study was to determinate the yield in the logging process of *Andira parviflora* Ducke., to verify possible yield differences among diameter classes, to verify the generated residues and to adjust mathematical models to estimate the future yield of lumbering. A total of 56 logs were sampled and grouped into 4 diameter classes represented by numbers 1, 2, 3, 4. For the log volume evaluation was held strict cubage by the Smalian method, next was evaluated the sawn wood volume for subsequently calculate the yield and the residues volume generated in the sawing process. The average yield of sawed wood in the processing logs of *Andira parviflora* Ducke. was 29.52% with 1,12% confidence level and presented statistical differences only between diametric class 1 in relation to the other 3 classes studied. Among the 4 classes studied, class 4 was the one with the highest yield value. 12 models were used to estimate the yield of sawn wood, being 6 linear and 6 non-linear models, being the yield in sawn wood (R) the dependent variable in function of the independent variables log diameter (D), log length (L) and log volume (Vt). All relationships between the variables were analyzed based on the Pearson correlation values. The quality of adjustment and selection of the models was based on the higher adjusted coefficient of determination (R^2_{ajust}), lower standard error of the estimate ($S_{yx}\%$) and homogeneous graphical distribution of the residues. Among the models tested to estimate yield in sawn wood of *Andira parviflora* Ducke., the best was the model 4, linear of double entry, but the model 3, linear of simple entry, also showed a good quality of adjustment. The non-linear models 7, simple entry and 8, double entry, obtained adjustment quality similar to models 3 and 4, being these 4 models the most suitable for estimating the yielding of sawn wood of *Andira parviflora* Ducke.

Keywords: tropical wood, wood subproducts, mathematical models, Sucupira-Vermelha.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Produção de madeira em tora e receita bruta da indústria madeireira na Amazônia Legal em 2010.....	16
TABELA 2 - Produção de madeira processada da Amazônia Legal em 2010	16
TABELA 3 - Polos madeireiros dos Estados da Amazônia Legal, menos PA, MT, RO em 2010	17
TABELA 4 - Fórmulas mais comumente utilizadas para cálculo do volume de toras	23
TABELA 5 - Propriedades mecânicas da madeira de <i>Andira parviflora</i> Ducke. (Sucupira-Vermelha). Fonte: IPT.....	29
TABELA 6 – Número de toras total e por classe com seus respectivos intervalos diamétricos, diâmetros médios e comprimento.....	30
TABELA 7 - Modelos testados para estimar o rendimento de madeira serrada no desdobro de toras de <i>Andira parviflora</i> Ducke.	34
TABELA 8 – Descrição dos dados coletados, contendo as médias, desvios padrões e amplitudes (mínimas e máximas) das variáveis diâmetro da ponta fina (D_{pf}), diâmetro da ponta grossa (D_{pg}), volumes das toras (VOL_{tora}) e madeira serrada (VOL_{ms}), e rendimento (%).	37
TABELA 9 – Análise de variância para o rendimento em madeira serrada entre as 4 classes diamétricas para a espécie Sucupira-Vermelha (<i>Andira parviflora</i> Ducke.)..	37
TABELA 10 - Volume médio de toras (m^3), volume médio de madeira serrada (m^3) e rendimento (%) obtidos a partir do desdobro de toras de <i>Andira parviflora</i> Ducke. em diferentes classes diamétricas.	38
TABELA 11 - Análise de variância para a geração de resíduos entre as 4 classes diamétricas para a espécie Sucupira-Vermelha (<i>Andira parviflora</i> Ducke.)	40
TABELA 12 – Resultados médios obtidos para volume de toras (m^3), volume de madeira serrada (m^3), volume de resíduos (m^3) e resíduo percentual (%) obtidos a partir do desdobro de toras de <i>Andira parviflora</i> Ducke. em 4 classes diamétricas ..	40
TABELA 13 – Valores obtidos pela Correlação de Pearson para as variáveis utilizadas	42
TABELA 14 – Modelos matemáticos testados para estimar o rendimento em madeira serrada de toras de <i>Andira parviflora</i> Ducke. com seus respectivos coeficientes.....	4

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Localização da serraria Mil Madeiras Preciosas Ltda., município de Itacoatiara - Amazonas, onde foi realizado o estudo.....	26
FIGURA 2 - Pilha de toras de <i>Andira parviflora</i> Ducke. (sucupira vermelha) no pátio da serraria	28
FIGURA 3 - Fotos das faces tangencial, radial e fotomicrografia da madeira de <i>Andira parviflora</i> Ducke (Sucupira-Vermelha).....	29
FIGURA 4 – Seleção e pintura das toras de Sucupira-Vermelha (<i>Andira parviflora</i> Ducke.) no pátio de serraria	30
FIGURA 5 – Cubagem das toras de Sucupira-Vermelha (<i>Andira parviflora</i> Ducke.) no pátio de serraria	31
FIGURA 6 – Organização e obtenção do volume de madeira serrada de Sucupira-Vermelha (<i>Andira parviflora</i> Ducke.)	32
FIGURA 7 – Esquema demonstrando as medidas a serem tomadas para se obter o volume da peça de madeira	32

SUMÁRIO

Ficha Catalográfica	i
Atestado de Aprovação	ii
RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	iv
LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
Justificativa.....	11
1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS.....	14
2.1. Geral.....	14
2.2. Específicos	14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1. A influência do setor florestal brasileiro na economia	15
3.2. Manejo florestal e Setor madeireiro na Amazônia.....	16
3.3. Espécies tropicais de interesse comercial	19
3.4. Desdobro de toras.....	20
3.5. Rendimento no desdobro	21
3.6. Resíduos gerados	24
3.7. Métodos de cubagem.....	25
3.8. Modelagem para estimativa de rendimento	26
4 MATERIAL E MÉTODOS	28
4.1. Local de estudo.....	28
4.2. Descrição da espécie.....	29
4.3. Obtenção e agrupamento das toras	31
4.4. Volume das toras	32
4.5. Volume de madeira serrada	33
4.6. Rendimento volumétrico de madeira serrada (%).....	35
4.7. Resíduos Gerados (%)	35
4.8. Análise estatística	36
4.9. Ajuste de Modelos.....	36
4.9.1. Correlação de Pearson	37
4.9.2. Critérios de seleção dos modelos	37

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.1. Descrição dos dados	39
5.2. Rendimento em madeira serrada.....	39
5.3. Geração de resíduos.....	41
5.4 Modelos matemáticos testados para a estimativa de madeira serrada ...	43
6. CONCLUSÃO	48
7 BIBLIOGRAFIA	49
APÊNDICE.....	53

Justificativa

Estudos como os de Murara Jr. *et al.*, (2005), Valério (2007), Marchesan (2012a), Garcia (2013), Manhiça *et al.*, (2013), Melo *et al.*, (2016) indicam que o processo de desdobro e o rendimento são influenciados pelas características dendrométricas das toras. Entretanto, trabalhos similares mostram não haver essa interação, ou seja, as diferenças de rendimento entre características dendrométricas não foram significativas (BIASI E ROCHA, 2007; DANIELLI *et al.*, 2016; MARCHESAN, 2012b). Diante desse problema de divergência de resultados e, sabendo-se da importância do conhecimento do rendimento, surge a dúvida: há diferença de rendimento entre classes diamétricas de toras para *Andira parviflora* Ducke.?

A Amazônia possui um grande potencial madeireiro que pode trazer muitos benefícios para a região por meio da produção de madeira serrada. Problemas relacionados ao processamento das toras, como o baixo rendimento e a alta geração de subprodutos, são considerados algumas das principais deficiências do setor madeireiro. Esse baixo rendimento resulta no aumento do custo do produto final e no desperdício de matéria-prima em forma de subprodutos (MELO *et al.*, 2016).

A melhoria do nível tecnológico industrial é condição essencial para o aproveitamento máximo da matéria-prima e está diretamente relacionado com a conservação dos recursos florestais. Assim, a eficiência técnica e econômica dos processos de transformação do recurso florestal em produtos pela indústria madeireira é fator básico para sua sobrevivência (BIASI, 2007).

O funcionamento de um empreendimento industrial madeireiro passa por fatores como disponibilidade de matéria-prima, mão-de-obra qualificada, logística, mercado, e principalmente nível tecnológico empregado no processo produtivo. A adoção de tecnologias atualizadas em serraria acarreta no aumento do rendimento em madeira e conseqüentemente, uma diminuição na perda de matéria-prima na forma de resíduos (VITAL, 2008).

1. INTRODUÇÃO

Além de produtor, o Brasil é também um grande consumidor de madeiras tropicais amazônicas. As atividades relacionadas a exploração de madeira na Amazônia brasileira, se resumem a corte seletivo e, em sua grande maioria, ainda possuem níveis tecnológicos obsoletos nos processos de desdobro de toras em serrarias, e técnicas que negligenciam parte da dinâmica florestal durante e depois da exploração (GARGIA *et al.*, 2012).

Devido ao enorme desperdício dos recursos florestais oriundos de todas as etapas da cadeia produtiva, desde a exploração florestal até o processamento industrial em serrarias, tem-se um maior impacto sobre a floresta. Assim, tornando o aproveitamento da matéria-prima um importante objeto de estudo visando a sua otimização (LATORRACA, 2004).

Dentre as estratégias para produção de madeira serrada, destaca-se o rendimento que a serraria tem no desdobro, ou seja, no processamento da tora na conversão em madeira serrada. A tora é um material que, ao ser processado para a produção de madeira serrada, gera perdas em formas de costaneiras, pó de serra e pontas de peças. Isso gera uma perda de matéria-prima na forma de subproduto que passa a ser estimado como um resíduo cujas tentativas de aproveitamento não têm agregado o devido valor a um material considerado tão nobre (GARCIA *et al.*, 2012).

Os processos de desdobro realizados na maioria das serrarias na Amazônia apresentam baixos rendimentos, em torno de 30% (HIGUCHI E CLEMENT, 2006), devido ao baixo nível tecnológico envolvido no processo produtivo. Por volta de 80% do volume de madeira tropical serrada não atinge esses 30% de rendimento, assim aumentando o preço final do produto e o volume de resíduos gerados em forma de pó de serra e costaneiras (BIASI E ROCHA, 2007).

A sustentabilidade na utilização dos recursos florestais depende, entre outros fatores, do rendimento no desdobro de toras, uma vez que a área de floresta explorada tem uma correlação negativa com o nível de aproveitamento da matéria-prima (DANIELLI *et al.*, 2016). Além do mais, Iwakiri (1990) cita que o conhecimento do rendimento de determinada espécie na serraria é imprescindível para que os empresários do setor florestal melhorem o planejamento, otimização e controle da produção.

Visando garantir a sustentabilidade da indústria madeireira amazônica, fica clara a alta demanda por pesquisas que gerem dados que servirão de base para determinar técnicas que visem a maximização do rendimento de madeira serrada de espécies amazônicas.

Dentro deste contexto, o objetivo deste estudo foi determinar o rendimento percentual no processo de desdobro de toras de *Andira parviflora* Ducke. (Sucupira-Vermelha)., verificar possíveis diferenças de rendimento entre classes de diâmetro, verificar a geração de subprodutos percentual oriundos do processo de desdobro e ajustar modelos matemáticos para estimar o rendimento futuro em madeira serrada.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Determinar o rendimento em madeira serrada no desdobro de toras de *Andira parviflora* Ducke. (Sucupira-Vermelha) oriundas de manejo de floresta nativa.

2.2. Específicos

- Verificar se há diferenças de rendimento entre 4 classes diamétricas;
- Verificar a geração de subproduto percentual;
- Ajustar modelos matemáticos para estimar o rendimento em madeira serrada.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. A influência do setor florestal brasileiro na economia

Entende-se por setor florestal todo o conjunto de atividades produtivas primárias e secundárias, que exploram, conservam, manejam e renovam e ou implantam florestas, bem como utilizam a madeira como principal insumo na transformação industrial (BREPOHL, 1980).

A relevância do setor florestal para a economia brasileira, em termos de geração de renda, emprego, impostos e divisas, foi comprovada em vários estudos científicos realizados a partir do ano 2000 (MARTINS *et al.*, 2003; SILVA 2004; VALVERDE *et al.*, 2005; SOUSA *et al.*, 2010).

De um modo geral, esses estudos constataram que o setor florestal se configurou como um setor-chave na economia em um determinado ano, pois teve considerável poder de compra; apresentou melhor desempenho em termos de produção, emprego, renda e arrecadação de impostos do que importantes setores econômicos; e contribuiu para o saldo positivo da balança comercial brasileira.

Contudo, até o momento, há poucos estudos analisando a participação do setor florestal no produto interno bruto (PIB) do país, bem como o comportamento do PIB florestal brasileiro ao longo dos anos.

O setor florestal tem grande importância na economia nacional e estima-se uma contribuição de 3,5 % do PIB nacional, perfazendo um total US\$ 27,8 bilhões, com destaque de três setores: celulose e papel (US\$ 8,9 bilhões), siderurgia a carvão vegetal (US\$ 4,2 bilhões) e madeira e móveis (US\$ 11,9 bilhões). Com relação à exportação, o setor tem participação com 8,4 % do valor total, contribuindo com 9,9 bilhões de dólares por ano (SNIF, 2017).

Com relação a geração de empregos, 57% (369 mil) dos empregos da cadeia de base florestal brasileira, a indústria de madeira sólida – que contempla produtos como painel de compensado, madeira serrada, pisos, portas e molduras – foi responsável por 9% do total de empregos formais do país, que em 2015 fechou com 39,663 milhões de vagas em estoque, segundo dados do Cadastro Geral de Empregados e Desempregados (Caged). Esse resultado mostra a relevância do setor para a economia brasileira, mesmo diante de um período de desaceleração (ABIMCI, 2016).

Enquanto no início de 2015, o saldo total de empregos no Brasil já estava negativo, com menos um milhão de vagas, a indústria da madeira gerou mil novas vagas. Mesmo diante do pico de menos 7 milhões de postos de trabalho no país entre novembro e dezembro de 2015 mostrou que o setor de madeira teve uma participação menor nesse número negativo, com cerca de 5 mil menos vagas. No início do ano passado, a indústria de madeira chegou a equilibrar o saldo, sem novas demissões. Ao longo de 2016, o setor tem se mantido ligeiramente acima do total nacional em saldos de empregos (ABIMCI, 2016).

As estimativas sobre o consumo interno de madeira no Brasil revelam o caráter predominantemente imediatista da exploração florestal: 300 milhões de m³ de madeira são consumidos anualmente no país, dos quais 110 milhões provêm de florestas plantadas e 190 milhões de florestas nativas (SNIF, 2017). Isso significa que o Brasil consome quase duas vezes mais madeira de florestas nativas do que de florestas plantadas. Na verdade, essa proporção pode ser maior, dado o desconhecido, mas elevado índice de ilegalidade na extração da madeira proveniente da Amazônia, sobre o qual se tem pouco conhecimento e controle (GONÇALVES, 2005).

3.2. Manejo florestal e Setor madeireiro na Amazônia

A exploração madeireira é um dos principais usos da terra na Amazônia e com o surgimento da infra-estrutura de transporte e melhoria dos valores de mercado possibilitaram a exploração madeireira em aproximadamente 65% da Amazônia brasileira (LENTINI *et al.*, 2005).

De uma maneira geral, a indústria madeireira na região amazônica é privilegiada por possuir grande disponibilidade de matéria-prima, porém há dificuldades na sua extração como a periodicidade de seu suprimento e os impactos ambientais causados à floresta.

Ao observar o contexto atual, verifica-se que a atividade florestal se intensificou em todo o mundo, o que se pode confirmar por meio do crescente comércio de produtos florestais entre diferentes nações e pelo interesse renovado de diversas organizações pelas florestas, porém o padrão atual de extração madeireira ainda se caracteriza por um processo de “mineração”, no qual o recurso florestal é tratado como recurso renovável de imediata reposição. Os madeireiros penetram

sucessivamente na floresta para retirar árvores de valor comercial. Esse tipo de exploração ocasiona a exaustão do recurso madeireiro além de provocar danos severos na vegetação e dificultar a regeneração natural, além do empobrecimento da floresta e talvez a extinção das espécies mais intensivamente exploradas (BARBOSA, 2001).

A adoção do manejo florestal apresenta diversas vantagens em relação à exploração florestal convencional, pois se caracteriza pela exploração florestal feita com planejamento criterioso de suas atividades, buscando melhorar a produtividade durante as operações, reduzindo os custos e os impactos ambientais à floresta remanescente e ao solo. O manejo florestal sustentável contribui para a conservação florestal, mantendo a estrutura e composição de espécies da floresta, assegurando a prestação de serviços ambientais, como manutenção do ciclo hidrológico e seqüestro de carbono (BRAZ *et al.*, 2005).

Barbosa *et al.*, (2001) cita que o setor produtivo de madeira e derivados na Amazônia enfrenta dificuldades enormes para tornar seus produtos competitivos no mercado, que está cada vez mais globalizado. Problemas relacionados ao setor são adoção de técnicas e emprego de tecnologias defasadas, alta seletividade de espécies florestais exploradas, mão-de-obra desqualificada e empresas descapitalizadas são recorrentes. Isso gera um aumento na demanda tecnológica específica visando o aumento da produção e rendimento, impactando o mínimo possível a floresta, à medida que o mercado evolui.

Segundo Biasi (2005) além de produtor, o Brasil é também um grande consumidor de madeiras tropicais. Se estima que na Amazônia brasileira existam cerca de 6 mil espécies arbóreas, cuja utilização comercial é limitada em aproximadamente 100 espécies, enquanto o número de madeiras exportadas para os mercados mundiais é inferior a 13 espécies. Este grande potencial madeireiro da região pode gerar muitos benefícios socioeconômicos por meio de estudos das caracterizações tecnológicas, visando difundir um maior número possível de espécies potenciais, com finalidades diversas ou específicas, para uso no mercado interno e externo. A cadeia produtiva da madeira estendeu-se para as espécies de rápido crescimento, plantadas e manejadas até então com a visão quantitativa da produção (GARCIA *et al.*, 2012).

Em 2009, 71 polos de produção de madeira na Amazônia Legal extraíram aproximadamente 14,2 milhões de m³ em tora. Os estados com maior produção de madeira serrada foram Pará, Mato Grosso e Rondônia responsáveis por 91% do total (PEREIRA *et al.*, 2010). Segundo os mesmos autores, a estimativa da receita bruta gerada pela indústria madeireira amazônica nesse ano foi de R\$ 4,9 bilhões (tabela 1).

TABELA 1 - Produção de madeira em tora e receita bruta da indústria madeireira na Amazônia Legal em 2009.

Estado	Número de polos madeireiros	Número de indústrias	Consumo anual de toras (milhares m ³)	Receita bruta (US\$ milhões)
Acre	1	24	422	91,4
Amapá	1	48	94	16,1
Amazonas	3	59	367	57,9
Maranhão	1	54	254	29,7
Mato Grosso	20	592	4.004	803,2
Pará	30	1.067	6.599	1.094,20
Rondônia	14	346	2.220	358,6
Roraima	1	37	188	31,5
Amazônia Legal	71	2.227	14.148	2.482,60

Fonte: SFB & Imazon (2010).

Na tabela 2, vemos que dos 14,2 milhões de m³ de toras extraídos em 2009 produziram 5,8 milhões de m³ de madeira processada, onde 72% foram em madeira serrada, 15% em produtos beneficiados e 13% em laminados e compensados. Em média, o rendimento no processo industrial foi de 41% (SFB, 2010).

TABELA 2 - Produção de madeira processada da Amazônia Legal em 2009.

Estado	Produção processada total (milhares de m ³)	Produção processada (%)			Rendimento (%)
		Madeira serrada	Produtos beneficiados	Laminados e compensados	
Acre	193	23	22	55	45,7
Amapá	41	88	12	-	43,6
Amazonas	144	86	14	-	39,2
Maranhão	90	85	-	15	35,4
Mato Grosso	1.795	67	21	12	44,8
Pará	2.550	80	8	12	38,6
Rondônia	925	64	23	13	41,7
Roraima	70	68	20	12	37,2
Amazônia Legal	5.808	72	15	13	41,1

Fonte: SFB & Imazon (2010).

No estado do Amazonas em 2009, haviam 3 polos madeireiros, Humaitá, Itacoatiara e Manaus, com 33, 8 e 13 indústrias madeireiras respectivamente. As cidades de Manacapuru, Novo Airão, Benjamim Constant, Boca do Acre, Lábrea e Tapauá juntos tinham 5 indústrias madeireiras. O estado consumiu 367 mil m³ em toras, resultando em 144 mil m³ de produtos processados, entre empregos diretos e indiretos, foram gerados 6525 e uma receita bruta de US\$ 57,9 milhões. O Amazonas, junto com Acre, Amapá, Maranhão e Roraima totalizavam 7 polos madeireiros gerando uma receita bruta de US\$ 226,6 milhões (SFB, 2010) (tabela 3).

TABELA 3 - Polos madeireiros dos Estados da Amazônia Legal, menos PA, MT, RO em 2009.

Polo Madeireiro	Número de indústrias	Extração anual de toras (milhares m³)	Produção processada (milhares m³)	Empregos gerados	Receita bruta (US\$ milhões)
Humaitá	33	168	69	2.529	24,7
Itacoatiara	8	143	53	2.601	25,7
Manaus	13	51	20	1.246	6,9
Outras localidades	5	5	2	149	0,6
Amazonas	59	367	144	6.525	57,9
Acre (Rio Branco)	24	422	193	4.641	91,4
Amapá (Macapá)	48	94	41	1.516	16,1
Maranhão (Açailândia)	54	254	90	3.976	29,7
Roraima (Boa Vista)	37	188	70	2.865	31,5
Total (demais estados)	222	1.325	538	19.280	226,6

Fonte: SFB & Imazon (2010).

3.3. Espécies tropicais de interesse comercial

Extima-se que há mais de 1000 espécies florestais exploradas na Amazônia, onde a grande maioria delas não possui características desejáveis, tais como baixa densidade, dureza, durabilidade natural, presença de sílicas, óleos, resinas, e portanto não são exploradas. Muitas outras não são utilizadas simplesmente porque suas características qualitativas ainda não são conhecidas (BIASI, 2005).

São exploradas pela indústria florestal por volta de 250 espécies, onde a maioria possui pouca demanda na região amazônica, e cerca de somente 80 são comercializadas internamente. Destas as mais exportadas são mogno, virola, sucupira, cedro, ipê, cerejeira, andiroba, louro, angelim e muiracatiara, em madeira serrada. O estado do Pará é o principal exportador de madeira dentro da Amazônia Legal, considerando todo o território brasileiro ele é o terceiro, ficando atrás somente do Paraná e Santa Catarina (ABIMCI, 2010).

A espécie cedro, marfim e peroba são as mais utilizadas como madeira serrada pelas marcenarias, o mogno: para laminados, a garapa: para dormentes, o ipê e o jatobá: para pisos e assoalhos; mogno, freijó, cerejeira, cedrorana, angelim-pedra: para portas, janelas e guarnições; curupixá, virola rosa, sumaúma e achichá para compensados; e cedrinho, peroba, entre outras: para construção civil.

Os principais produtos da indústria de madeira tropical dura do Brasil são madeiras serradas, incluindo madeira para construção, madeira certificada, assoalhos, painéis e madeira não classificados, laminados, compensados e móveis (REMADE, 2016).

3.4. Desdobro de toras

Desdobro é o processo no qual as toras são convertidas em produtos de madeira, por meio de sucessivos processos mecânicos que dão forma e tamanho a peças menores de acordo com seus usos (PONCE, 1993).

Nas operações de desdobro de toras, na forma de madeira serrada, são utilizadas determinadas técnicas. Essas técnicas são aplicadas, de acordo com as características relacionadas à matéria prima, ao maquinário e as formas de desdobro e podem ser classificadas em: técnicas convencionais ou técnicas modernas. Para o autor, o processo convencional de desdobro de toras é um processo muito lento, onde a trajetória da tora e das peças serradas, dentro da serraria, é pouco automatizada, em função da variabilidade da matéria prima, o que resulta em baixa produção e eficiência (ROCHA, 2002).

Além das técnicas de desdobro da madeira existem também sistemas de desdobro da madeira que podem ser classificados em função de determinadas características. Conforme Vital (2008) quanto aos anéis de crescimento e raios lenhosos, o desdobro pode ser tangencial ou radial. Quanto ao eixo longitudinal da tora pode ser paralelo ao eixo ou paralelo à casca. Já quanto à continuidade dos cortes, estes podem ser sucessivos ou em sanduíche, simultâneos ou alternados em relação ao eixo longitudinal.

De acordo com Rocha (2002) no desdobro principal as toras podem ser transformadas em blocos, semi-blocos, pranchões, pranchas e tábuas. Normalmente, neste desdobro as serras são classificadas como serras alternativas ou de quadro, serras de fita, serras circulares e serras destopadeiras. No desdobro secundário as

peças têm o seu tamanho reduzido até seu tamanho final. As operações de desdobro secundário são divididas em: resserragem, onde a espessura da peça que saiu do desdobro principal é diminuída, refilo, que é realizado para diminuir a largura das peças, destopo, onde as peças ganham seu comprimento final com a retirada das extremidades das peças; e o reaproveitamento, que é a operação de desdobro de peças já consideradas resíduos.

Biasi (2005) cita que no desdobro é muito importante a escolha do sistema que será seguido no processamento das toras, pois ele deverá servir não só para diminuir os desperdícios e obter o máximo volume utilizável, como também para bitolar corretamente o produto nas dimensões finais exigidas por normas específicas. Outros artefatos produzidos a partir das sobras deverão, dentro do possível, estar com um grau de qualidade correspondente à categoria de uso para a qual há demanda.

3.5. Rendimento no desdobro de toras

Existem vários parâmetros que podem servir de base para os gestores de serrarias avaliarem o seu desempenho, o rendimento e a eficiência são os principais, e mostram claramente se as operações na empresa estão sendo executadas corretamente.

O rendimento volumétrico é a relação percentual entre o volume produzido de madeira serrada e o volume utilizado em tora. Entretanto pode ocorrer uma série de fatores que interferem no volume obtido de madeira serrada, influenciando assim no rendimento volumétrico (BIASI, 2005).

Para Tsoumis (1991), o rendimento de madeira serrada é influenciado por vários fatores que envolvem a espécie (diâmetro da tora, comprimento, conicidade e defeitos), máquinas de desdobro (linha de serragem, condição e manutenção dos equipamentos, variação da serragem), modelos de corte (dimensões da madeira serrada), habilidades e experiência dos operadores das máquinas, tornando assim indispensável a determinação do rendimento em serrarias, e a eficiência expressa a relação entre o volume de toras serradas por período ou turno e o número de operários envolvidos em todas as operações de desdobro.

No cálculo da eficiência na serraria é usado o volume de toras para que o diâmetro da tora e o rendimento não influenciem no resultado obtido, porém, para o autor a eficiência é afetada por alguns fatores como uso de coníferas ou de folhosas

(madeira mais leve ou mais pesada, com baixa ou alta densidade, fuste mais retilíneo ou menos etc.); layout da serraria; uniformidade da matéria-prima e padronização; características e condições do maquinário; disponibilidade de energia; grau de mecanização e automatização da serraria (ROCHA, 2002).

A avaliação da eficiência vem perdendo significância em grandes empresas, devido à automação onde o processo é controlado por poucos ou apenas um operador, através de comandos eletrônicos. Porém, em serrarias de pequeno e médio porte, onde o grau de automação é baixo, tal informação é importante para as tomadas de decisão do remanejamento do número de operários utilizados em cada atividade, além de se saber a produtividade de cada operário por ciclo de trabalho, o que possibilita uma avaliação custo/benefício de cada operário (LATORRACA, 2004).

O rendimento e a eficiência em madeira serrada são influenciados por diversos fatores, tais como características das espécies, maquinário, mão de obra e, principalmente, pelo diâmetro das toras (MURARA JUNIOR, 2006). O rendimento em madeira serrada pode ser influenciado ainda pelo comprimento, conicidade e defeitos, máquinas de desdobro, modelos de corte (dimensão da madeira serrada), habilidades e experiência dos operadores das máquinas (TSOUMIS, 1991).

As toras com maiores diâmetros tendem a proporcionar maiores rendimentos, uma vez que o volume de madeira perdido com costaneiras e aparas é menor em porcentagem em relação ao volume das toras. Segundo Manhiça (2010), geralmente na medida em que o diâmetro da tora aumenta também aumenta o rendimento volumétrico. Na maioria das vezes o desdobro de tora de menor diâmetro resulta em perdas de madeira na forma de costaneiras e refilos com presença de alburno afetando diretamente o rendimento em madeira serrada. Essa perda diminui com a utilização de toras de maior diâmetro.

Tanto o rendimento em madeira serrada quanto a eficiência de uma serraria são afetados pela qualidade das toras, que também influencia na qualidade da madeira serrada. Tendo reflexos sobre todos os sistemas de produção da serraria (VITAL, 2008). A qualidade da tora está diretamente ligada com a conicidade, tortuosidade, bifurcação, tronco sulcado, excentricidade, nós, protuberâncias, inclinação de grã, rachaduras, proporção de lenho inicial e lenho tardio, anéis ondulados e tensões de crescimento. Dentre esses principais fatores, deve-se dar uma atenção maior a conicidade e a tortuosidade. A conicidade afeta a classificação

das toras, aumenta o resíduo, reduz o rendimento e modifica as propriedades mecânicas da madeira serrada (MANHIÇA, 2010).

Para se ter um bom desempenho das operações dentro de uma serraria, o que garante melhor rendimento, produto de melhor qualidade e redução dos riscos de acidentes, entre outros fatores, é necessário que os responsáveis pelo gerenciamento da mesma conheçam e definam todas as operações executadas, desde a entrada das toras até a madeira serrada em suas dimensões finais (MARCHESAN, 2012). Manhiça (2010) menciona alguns requisitos que devem ser associados às técnicas de desdobro, entre os quais, a velocidade de processamento, cortes múltiplos, flexibilidade e rapidez na variação dos modelos de corte, mecanização e automatização do fluxo de produção e separação e reaproveitamento dos resíduos.

O equipamento que será utilizado para o desdobro de toras em uma serraria depende essencialmente de vários fatores que incluem o tipo de produto a fabricar, espécies e suas características, dimensões das toras e produção pretendida. É comum encontrar grande parte de serrarias de pequeno porte que processam madeira na condição de pouca automação operando com equipamento lento. O desdobro principal geralmente é feito fundamentalmente na serra fita simples ou dupla, serra fita tandem com carro porta-tora, de onde resultam na maioria das vezes pranchões, semi-blocos ou blocos. Nesta etapa, a experiência do operador da máquina principal afeta de forma considerável o rendimento volumétrico (MANHIÇA, 2010).

O Coeficiente de Rendimento Volumétrico (CRV) é de 35% para transformações das matérias-primas tora e torete em madeira serrada (CONAMA, 2016).

Segundo a Resolução Nº 474, de 6 de Abril de 2016 do CONAMA, a conversão de produtos florestais por meio do processamento industrial ou processo semi-mecanizado deve ser informada no Sistema Nacional de Controle da Origem dos Produtos Florestais - Sinaflor ou no sistema eletrônico estadual integrado, respeitando os limites máximos de coeficiente de rendimento volumétrico dispostos nesta mesma Resolução, salvo nos casos em que os coeficientes de rendimento fiquem acima do previsto no anexo II, onde o empreendedor deverá apresentar estudo técnico conforme Termo de Referência padrão (Anexos III e IV), que dependerá de aprovação do órgão ambiental competente.

O saldo de resíduo madeireiro gerado na conversão de produtos brutos para produtos processados exigiu uma redução de no mínimo 10% (dez por cento), referente às perdas na forma de serragem e pó de serra. Eventuais perdas decorrentes da conversão entre produtos processados deverão ser informadas no Sistema DOF ou no sistema eletrônico estadual integrado conforme o volume obtido da operação.

A Resolução N° 406, de Fevereiro de 2009 do CONAMA, art. 6º, diz que fica estabelecido o diâmetro mínimo de corte de 50 cm para todas as espécies, para as quais ainda não se estabeleceu o DMC específico. A alteração dos parâmetros definidos nos arts. 4º, 5º e 6º no PMFS dependerá da apresentação de estudos técnicos que, mediante justificativas elaboradas por seu responsável técnico, atendendo a uma série de requisitos.

3.6. Resíduos gerados

O grande volume de subprodutos gerados pelas indústrias de transformação da madeira é um problema existente em praticamente todas as serrarias brasileiras. Embora as empresas modernas incluam em sua atividade o gerenciamento ambiental e o aproveitamento integrado de seus subprodutos, a maioria das serrarias instaladas ainda está despreparada para o descarte apropriado de seus rejeitos (REMADE, 2016).

Existem várias opções para o aproveitamento dos subprodutos, como exemplo pode-se citar a utilização nas indústrias de painéis de madeira reconstituída, compostagem, geração de energia pela queima direta ou transformação em briquetes, entre outras possibilidades (MARCHESAN, 2012).

A geração de subprodutos está diretamente ligada a fatores como falta de qualidade de matéria prima, adoção de técnicas de baixa tecnologia, decisões erradas dos operadores de serra, entre outros.

Os resíduos oriundos do desdobro variam em tamanho e forma e são classificados em refilos (proveniente do processo de refilagem da madeira, onde define-se a largura das tábuas retirando-se a casca e os defeitos laterais), costaneiras (peças externas com casca da tora obtidas do processamento primário das toras), destopos (proveniente do corte das pontas das tábuas ou pranchões), serragem

(proveniente da ação mecânica de serras e máquinas usadas no desdobro da madeira que gera resíduos como pó de serra, lascas, maravalha e cavacos (DE PAULA, 2006).

3.7. Métodos de cubagem

Na cubagem rigorosa, a árvore é dividida em seções, de comprimentos iguais ou não; por meio da utilização de fórmulas geométricas o volume dessas seções é obtido e, por adição destas partes, o volume da árvore é calculado (FAO, 1973).

Scolforo *et al.* (1994) descrevem a cubagem rigorosa como sendo a medição de sucessivos diâmetros ao longo do tronco da árvore. Este mesmo autor comenta que as medições diamétricas eram feitas a 0,30; 1,30; 3,30; 5,30 e assim sucessivamente, de 2 em 2 metros, porém as distâncias entre medições diamétricas podem ser alteradas em função da forma e da rigorosidade do processo de cubagem. Para árvores nativas, estabeleceram as seguintes distâncias de medições dos diâmetros: 0,30; 0,70; 1,30; 2,00 e assim sucessivamente, de metro a metro, até a altura desejada para a cubagem.

Entretanto, a cubagem não é uma atividade fácil, pois as toras possuem seções transversais e perfil irregular. Por isso deve-se buscar medir o diâmetro com bastante precisão para minimizar erros na estimativa do volume da tora.

As principais fórmulas empregadas na cubagem rigorosa são a de Smalian, a de Huber e a de Newton, como mostrado na tabela 5). Segundo Machado e Figueiredo (2006) a fórmula de Smalian é a mais usada no Brasil devido a facilidade de obtenção das variáveis e uma precisão razoável.

TABELA 4 – Fórmulas mais comumente para cálculo do volume de toras.

Método	Fórmula
Smalian	$V = \frac{(g_1 + g_2)}{2} * L$
Huber	$V = L * g_m$
Newton	$V = \frac{g_1 + 4 * g_m + g_2}{6} * L$

A fórmula de Newton utilizada para a cubagem rigorosa se destaca pela precisão proporcionada na determinação volumétrica, uma vez que se exige um maior número de medições de diâmetros numa determinada seção do tronco. Este mesmo

autor menciona que, independentemente da fórmula utilizada para cálculo do volume, quanto menor for o comprimento da seção, maior precisão será obtida na determinação volumétrica.

3.8. Modelagem para estimativa de rendimento

No setor florestal, o prognóstico do estoque e rendimento da matéria-prima com rapidez e confiabilidade, é de interesse de todo administrador. Ele possibilita que decisões sobre desempenho industrial, conjuntura organizacional e uso correto da matéria-prima sejam tomadas antecipadamente às situações adversas, reduzindo gastos e evitando perdas no processo produtivo. Portanto, como os inventários florestais são de grande importância para o planejamento de uma empresa florestal, o conhecimento confiável de seu consumo de matéria-prima e aproveitamento é imprescindível, pois permite ajustar para a indústria a quantidade ideal de madeira a ser consumida, resultando em sua sustentabilidade (VALÉRIO *et al.*, 2008).

A modelagem é uma ferramenta de grande importância na área florestal, sendo desenvolvida e utilizada para realizar previsões de produtividade florestal, estimativas hipsométricas, volumétricas e de biomassa. Essas ferramentas dendrométricas disponibilizam informações consistentes que auxiliam na quantificação em inventários e na determinação de práticas de manejo corretas, além de servir como importante ferramenta para a tomada de decisões estratégicas em planos de gestão florestal (VALÉRIO *et al.*, 2008). Apesar de reconhecida a importância do uso de modelos matemáticos no processamento industrial para previsão do rendimento e do volume de resíduos gerados no desdobro e desenrolo de madeira, eles ainda têm sido pouco utilizados no Brasil (DANIELLI *et al.*, 2016).

O emprego de modelos de equações matemáticas é usado para estimar parâmetros hipsométricos, volumétricos, de biomassa, de produtividade florestal, rendimento em madeira serrada, além de outros parâmetros. O conhecimento desses parâmetros e a previsão de estoque futuro do volume de uma floresta, proporciona elaboração de planos mais ousados e seguros visando a comercialização do produto final (SOUZA *et al.*, 2007).

Nesse contexto, o uso de modelos para estimativa do rendimento de serrarias pode gerar informações importantes para a composição de modelos e a formação de sistemas para se conhecer o rendimento futuro de uma floresta em termos de volume

de produto final, proporcionando estratégias mais ousadas e seguras, com vistas aos mercados de tais produtos (SOUZA *et al.*, 2007).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Local do estudo

O estudo foi realizado na serraria Mil Madeiras Preciosas Ltda. localizada no município de Itacoatiara, na rodovia AM-363, km 1,5, leste do estado do Amazonas, distante aproximadamente 235 km de Manaus (figura 3) praticando manejo florestal sustentável em suas próprias terras desde 1996. A propriedade florestal é organizada como uma única unidade de manejo florestal e gerenciada de forma sustentável preservando a biodiversidade.

A quantidade de toras que pode ser explorada é limitada. São utilizadas mais de 45 espécies diferentes de árvores, contribuindo para o desenvolvimento do mercado de espécies arbóreas menos conhecidas e, portanto, menos utilizadas. Desde 1997, toda a produção da Mil Madeiras Preciosas Ltda. é certificada de acordo com os padrões do Forest Stewardship Council® (FSC®) e também de acordo com os padrões do Programa de Certificação de Certificação Florestal (PEFC).

As coordenadas geográficas da serraria são: latitude S 58°43'16" e longitude W 03°37'42". A área de floresta da empresa possui 506,699 hectares, com relevo plano/ondulado e o clima é classificado como *Ami* (KÖPPEN e GEIGER, 1993) tropical chuvoso com pequeno período de seca, com precipitação média anual por volta de 2200 mm. O período seco é considerado aquele com precipitações mensais abaixo de 100 mm, que geralmente vai de julho a setembro. Nos demais meses as chuvas são mais intensas. A temperatura média anual é de 26,7 °C.

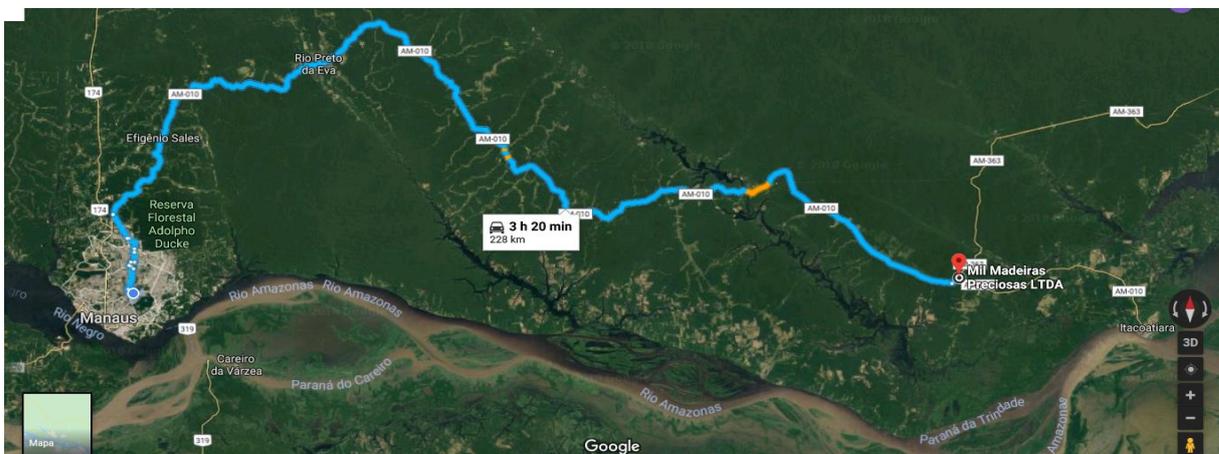


FIGURA 1 - Localização da serraria Mil Madeiras Preciosas Ltda., município de Itacoatiara - Amazonas, onde foi realizado o estudo.

FONTE: Google Maps (2018).

4.2. Descrição da espécie

A *Andira parviflora* Ducke. (Sucupira-Vermelha) é uma espécie nativa e endêmica da Amazônia brasileira, pertencente à família Fabaceae e apresenta ocorrência nos estados do Amazonas e Pará (ALBUQUERQUE E GUIMARÃES, 2007).

Possui também, alto potencial econômico podendo ter uso medicinal, madeireiro, aplicações ambientais e em arborização. É também indicada em programas de recuperação de áreas degradadas, de reflorestamento em áreas de preservação permanente pelo fato de ser classificada como pioneira a secundária tardia e por apresentar tolerância a solos secos, inférteis e arenosos (SOUSA, 2003).

A Sucupira-Vermelha possui grande porte atingindo facilmente os 25m de altura e diâmetro de 60cm, casca de espessura média e coloração castanho avermelhado. As folhas são compostas com pecíolo e ráquis denso-pilosos (pelos avermelhados), possui de 5-9 folíolos igualmente pilosos, espessos de 30-90 mm de comprimento por 15-35 mm de largura, com formato obovado-oblongos de base estreitamente arredondada ou obtusa e ápice obtuso agudo ou curto-acuminados e margem revoluta, face superior lustrosa com as nervuras imersas e face inferior proeminente recoberta por pelos avermelhados. A inflorescência é em panículas densifloras e comumente terminais, possui densamento recoberto por pilosidade avermelhada curta de até 10 cm de comprimento. As flores são sésseis com cheiro desagradável, pétalas de 5-6 mm de comprimento, glabras, brancas, vexilo linear, violáceo. O fruto é do tipo drupa ovóide de 40-45 mm de comprimento por 35-45 mm de largura, glabra um pouco oblíquo e comprimido (REFLORA, 2016).



FIGURA 2 – Pilha de toras de *Andira parviflora* Ducke. (sucupira vermelha) no pátio.
Fonte: acervo pessoal.

A madeira possui densidade básica de 0,80 a 0,90 (pesada). Cor do albúneo bege e cerne avermelhada com aspecto fibroso. Grã direita e textura grossa. Sem cheiro e sem gosto. Possui alta durabilidade natural, altamente resistente a ação de fungos e moderadamente resistente ao ataque de cupins. Com relação a trabalhabilidade da madeira, ela é moderadamente fácil de serrar, fácil de aplainar, pregar e aparafusar. Recebe bom acabamento. Possui poros visíveis a olho nú, médios a grandes, poucos, solitários, múltiplos e formando longas cadeias radiais, obstruídos por resina. Linhas vasculares bem demarcadas, retas e altas, contendo resina. Figuras radiais finas e numerosas. Figuras tangenciais são baixas e dispostas irregularmente e em alguns trechos tendendo a estratificação. Parênquima axial visível a olho nú, aliforme de aletas longas, formando arranjos oblíquos ligando os poros. Camadas de crescimento distintas por zonas de tecido fibroso (REFLORA, 2016).

A Madeira de Sucupira-Vermelha tem uso indicado para construção civil e naval, móveis, faqueados decorativos, cabos e objetos torneados, tacos para assoalhos e bilhar, bengalas, tanoaria, dormentes, estacas, marcenaria, carpintaria e postes.

TABELA 5 – Propriedades mecânicas da madeira de *Andira parviflora* Ducke (Sucupira-Vermelha).

Propriedade Mecânica		Classificação
Módulo de Elasticidade (kgf/cm ²)	163,761	Alta
Dureza Janka (kgf)	973	Alta
Cisalhamento (kgf/cm ²)	139	Alta
Tração Normal às Fibras (kgf/cm ²)	75	Média
Fendilhamento (kgf/cm ²)	11,3	Alta

Testes segundo a Norma Brasileira MB-26/53 – ABNT (NBR6230/85-INMETRO)

Fonte: IPT



FIGURA 3 - Fotos das faces tangencial, radial e fotomicrografia da madeira de *Andira parviflora* Ducke (Sucupira-Vermelha).

Fonte: IPT

4.3. Obtenção e agrupamento das toras

A espécie utilizada para este estudo foi obtida de manejo florestal sustentável, safra 2017, realizado em uma unidade de extração de madeira da empresa Mil Madeiras Preciosas Ltda.

Foram selecionadas 56 toras no pátio da serraria, onde foram mensuradas, pintadas e divididas em 4 classes de diâmetro (de acordo com a ponta fina), com 14 toras em cada classe. O comprimento das toras era de 4,5m, conforme a tabela 6. Essas toras tiveram seus topos pintados de cores diferentes, enumerados e depois foram agrupadas em lotes de acordo com seus diâmetros. Após realizada a mensuração, pintura e enumeração, as toras foram agrupadas em lotes onde as cores azul, verde, amarelo e vermelho representando as classes de diâmetro 1 (30-39), 2 (40-49), 3 (50-59) e 4 (60-69) respectivamente. Assim facilitando a mensuração do volume se madeira serrada após o desdobro. A enumeração das toras foi realizada para ordenar a sequência de desdobro assim facilitando a cubagem do produto final de cada tora (figura 5).



FIGURA 4 – Seleção e pintura das toras de Sucupira-Vermelha (*Andira parviflora* Ducke.) no pátio de serraria.
 Fonte: acervo pessoal.

Após a seleção das toras, pinturas e enumeração das seções transversais, agrupamento em lotes de acordo com o diâmetro e organização da sequência de serragem, foi iniciado o desdobro.

TABELA 6 – Número de toras total e por classe com seus respectivos intervalos diamétricos, diâmetros médios e comprimento.

Classe diamétrica	Intervalo de diâmetro (cm)	Número de toras (n)	Diâmetro médio (cm)	Comprimento (m)
1	30-39,9	14	37,0	4,5
2	40-49,9	14	46,6	4,5
3	50-59,9	14	54,3	4,5
4	60-69,9	14	65,4	4,5
TOTAL		54		

4.4. Volume das toras

Para calcular o volume de cada tora, foram feitas duas medidas perpendiculares em cada ponta para se obter os diâmetros de cada extremidades (*ponta grossa e ponta fina*). Em seguida foi feita a média aritmética entre os diâmetros das duas pontas para se obter o diâmetro da tora (D) (figura 6). O comprimento das toras foi padronizado em 4,5m em função das dimensões das peças finais atendendo ao pedido expedido para a empresa Mil Madeiras Preciosas Ltda.

É importante salientar que o número de toras foi o mesmo para as 4 classes de diâmetro e o comprimento dessas toras foi padronizado em 4,5m, o que sugere um baixo desvio padrão das variáveis.



FIGURA 5 – Cubagem das toras de Sucupira-Vermelha (*Andira parviflora* Ducke.) no pátio de serraria. Fonte: acervo pessoal.

Com estes dados realizou-se o cálculo do volume aplicando o método de *smalian* de acordo com a equação 1.

$$V_t = \frac{D^2 * \pi}{40000} * L \quad (\text{eq. 1})$$

Onde:

V_t = volume total da tora com casca (m³);

D = diâmetro médio da tora (cm);

L = comprimento total da tora (m).

4.5. Volume de madeira serrada

Após o desdobro, todas as peças geradas de cada tora foram agrupadas em lotes para posterior contagem e assim multiplicar pelo número de peças para se obter o volume de madeira serrada proveniente de cada tora (figura 7).



FIGURA 6 – Organização e obtenção do volume de madeira serrada de Sucupira-Vermelha (*Andira parviflora* Ducke.).
Fonte: acervo pessoal.

As peças foram medidas com auxílio de trena métrica. Para o cálculo do volume individual (figura 8), utilizou-se a equação 2.

$$V_{msi} = \frac{a*b*c}{10^6} \quad (\text{eq. 2})$$

Onde:

V_{msi} = volume individual de uma peça (m^3);

a = largura da peça (cm);

b = espessura da peça (cm);

c = comprimento da peça (cm).

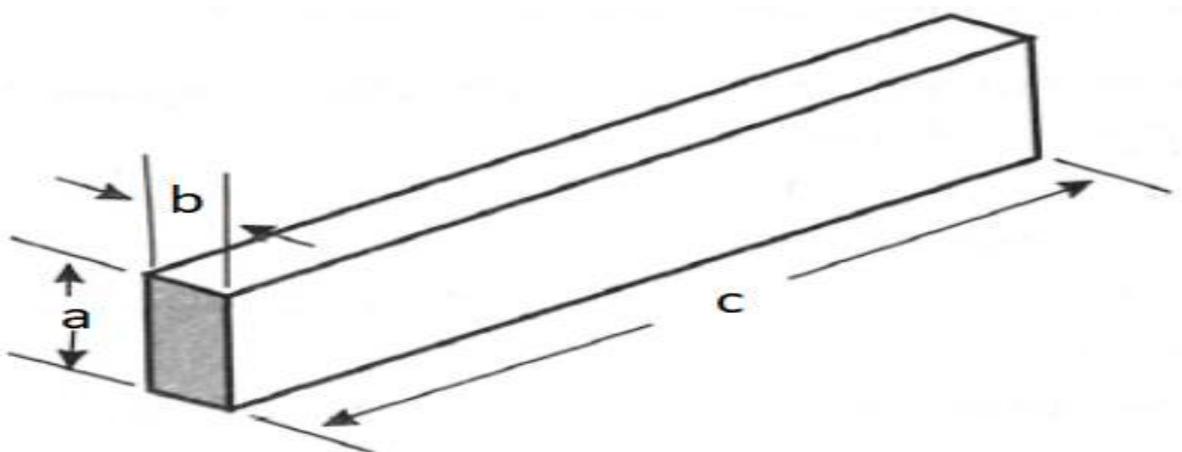


FIGURA 7 – Demonstração das medidas a serem tomadas para se obter o volume da peça de madeira.

Após a obtenção do volume individual das peças, foi calculado o volume de madeira serrada de cada tora, multiplicando-se o volume individual pelo número de peças geradas, conforme a equação 3:

$$V_{ms} = N_{p\zeta s} * V_{msi} \quad (eq. 3)$$

Onde:

V_{ms} = Volume de madeira serrada;

V_{msi} = Volume individual de uma peça.

4.6. Rendimento volumétrico de madeira serrada (%)

Após a determinação do volume de peças de madeira geradas, foi calculado o rendimento individual de cada tora e posteriormente, o rendimento médio de cada classe diamétrica, conforme equação 4.

$$R(\%) = \frac{V_{ms}}{V_t} * 100 \quad (eq. 4)$$

Onde:

$R(\%)$ = rendimento percentual;

V_{ms} = volume em madeira serrada (m^3);

V_t = volume da tora (m^3).

4.7. Resíduos gerados (%)

A quantidade de subprodutos gerados no desdobro foi determinada pela diferença entre o total (100%) e o rendimento, previamente determinado, conforme a equação 5.

$$VR(\%) = 100 - R(\%) \quad (eq. 5)$$

Onde:

$VR(\%)$ = volume de resíduos percentual;

$R(\%)$ = rendimento percentual em madeira serrada;

4.8. Análise estatística

Primeiramente foi avaliada a normalidade dos dados por meio do teste de *Bartlett* a 95% de probabilidade para verificar a homogeneidade das variâncias.

Atendendo ao preceito da homogeneidade dos dados, foi feita uma análise estatística comparando médias baseada na análise de variância (ANOVA), verificando se o tratamento classe de diâmetro teve algum efeito diferente no rendimento a 95% de probabilidade. Constatada a diferença na análise de variância, foi aplicado o teste de comparação de médias baseado no método de *Tukey* a 95% de probabilidade.

Essas análises estatísticas foram realizadas por meio da utilização do software “R” e Microsoft *Excel 2016*.

4.9. Ajuste de modelo

Por meio de análise de regressão utilizando o método dos mínimos quadrados, foram testados 12 modelos, 6 modelos lineares e 6 não-lineares, conforme tabela 7.

TABELA 7 - Modelos testados para estimar o rendimento de madeira serrada no desdobro de toras de *Andira parviflora* Ducke. R: rendimento (m³); D: diâmetro (cm); L: comprimento da tora (m); Vt: volume da tora (m³) e β_0 , β_1 e β_2 : coeficientes da regressão.

Nº	MODELO
1	$R = \beta_0 + \beta_1 D + \epsilon$
2	$R = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 L + \epsilon$
3	$R = \beta_0 + \beta_1 D^2 + \epsilon$
4	$R = \beta_0 + \beta_1 D^2 + \beta_2 L^2 + \epsilon$
5	$R = \beta_0 + \beta_1 DL + \epsilon$
6	$R = \beta_0 + \beta_1 DL^2 + \epsilon$
7	$R = \beta_0 * D^{\beta_1} + \epsilon$
8	$R = \beta_0 * D^{\beta_1} * L^{\beta_2} + \epsilon$
9	$R = \beta_0 * DL^{\beta_1} + \epsilon$
10	$R = \beta_0 * D^{\beta_1} * Vt^{\beta_2} + \epsilon$
11	$R = \beta_0 * Vt^{\beta_1} + \epsilon$
12	$R = \beta_0 * DL^{\beta_1} * Vt^{\beta_2} + \epsilon$

4.9.1. CORRELAÇÃO DE PEARSON

Foi realizado o teste de correlação de Pearson para verificar a correlação entre as variáveis envolvidas nos modelos testados. Também foi verificado se as variáveis independentes estavam correlacionadas entre si, caracterizando o efeito da multicolinearidade (GRAHAM, 2003). Um dos pressupostos da regressão diz que deve haver baixa correlação entre as variáveis independentes utilizadas nos modelos (GOTELLI E ELLISON, 2011).

4.9.2. CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DOS MODELOS

Para avaliar a qualidade dos modelos, foram considerados os critérios estatísticos indicados por Santos (1996), ou seja, maiores valores de coeficiente de determinação (R^2 ajustado), menores valores de erro padrão da estimativa (S_{yx}) e distribuição gráfica mais homogênea dos resíduos:

- Coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado)

$$R^2_{ajust.} = R^2 - \left(\frac{k-1}{n-k}\right) * (1 - R^2) \quad (eq. 7)$$

Onde:

R^2 = coeficiente de determinação;

k = número de coeficientes;

n = número de observações (toras);

- Erro padrão da estimativa percentual ($S_{yx}\%$)

$$S_{yx}(\%) = \frac{S_{yx}}{x} * 100 \quad (eq. 8)$$

Onde:

S_{yx} = erro padrão da estimativa (m^3);

x = média da população.

- Distribuição de resíduos

$$Res(\%) = \frac{(V_{est} - V_{obs})}{V_{obs}} * 100 \quad (eq. 9)$$

Onde:

Vest= volume estimado de madeira serrada (m³);

Vobs= volume observado de madeira serrada (m³).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Descrição dos dados

Na tabela 8 são apresentadas algumas estatísticas referentes ao conjunto de dados coletados de 56 toras de *Andira parviflora* Ducke. (Sucupira-Vermelha), divididas em 4 classes diamétricas. O volume total em toras foi de 53,53m³ que geraram um volume total em madeira serrada de 16,44m³, atingindo assim um rendimento de 29,52% com intervalo de confiança de $\pm 1,12\%$.

TABELA 8 – Descrição dos dados coletados, contendo as médias, desvios padrões e amplitudes (mínimas e máximas) das variáveis diâmetro da ponta fina (D_{pf}), diâmetro da ponta grossa (D_{pg}), volumes das toras (VOL_{tora}) e madeira serrada (VOL_{ms}), e rendimento (%).

Variável	Média	Desvio Padrão	Amplitude	
			Mínima	Máxima
D _{pf}	49,63	10,62	31	69
D _{pg}	52,00	10,69	33	70
VOL _{tora}	0,956	0,392	0,362	1,707
VOL _{ms}	0,294	0,146	0,083	0,602
Rend	29,52	4,27	20,27	38,51

5.2 Rendimento em madeira serrada

Na tabela 9, é apresentada a análise de variância do rendimento em madeira serrada para a *Andira parviflora* Ducke., onde se pode observar que houve diferença estatística entre os rendimentos das quatro classes diamétricas estudadas, para um nível de probabilidade de 5%.

TABELA 9 - Análise de variância para o rendimento em madeira serrada entre as 4 classes diamétricas para a espécie Sucupira-Vermelha (*Andira parviflora* Ducke.).

Fonte	SQ	GL	QM	Valor-P
Classes de Diâmetro	674,9212	3	224,9737	3,22E-12
Residual	348,1105	52	6,694432	
Total	1023,032	55		

Por meio da análise estatística, pôde-se observar que houve uma diferença de rendimento entre a classe diamétrica 1 e as classes 2, 3 e 4, que por sua vez não tiveram diferença, a um nível de 95% de probabilidade. Entretanto, as tendências de variação observadas entre as classes, apesar da igualdade estatística, podem gerar grandes diferenças numa situação de grande produção. Esta análise objetivou avaliar

as possíveis diferenças de rendimento existente entre as 4 classes de diâmetro estudadas.

Na tabela 10 são apresentados os resultados gerais de rendimentos médios em madeira serrada das 4 classes diamétricas de toras de *Andira parviflora* Ducke. (Sucupira-Vermelha). Os rendimentos médios foram de 23,71%, 30,38%, 31,13% e 32,91% para as classes 1, 2, 3 e 4 respectivamente, mostrando uma tendência de aumento de rendimento em função do aumento da classe de diâmetro.

TABELA 10 – Volume médio de toras (m³), volume médio de madeira serrada (m³) e rendimento (%) obtidos a partir do desdobro de toras de *Andira parviflora* Ducke. em diferentes classes diamétricas.

Classe diamétrica	Intervalo de diâmetro (cm)	Volume de toras (m ³)	Volume de madeira serrada (m ³)	Rendimento (%)
1	30-39,9	6,79	1,61	23,71 a
2	40-49,9	10,73	3,26	30,38b
3	50-59,9	14,68	4,57	31,13b
4	60-69,9	21,33	7,02	32,91b

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

Os rendimentos médios obtidos para as 4 classes diamétricas estudadas da espécie Sucupira-Vermelha (*Andira parviflora* Ducke.) são apresentados na Tabela 8. Para os valores de rendimento o teste de Tukey evidenciou diferenças estatísticas ao nível de 95% de probabilidade entre a classe 1 e as demais classes (2, 3 e 4). A classe 1 apresentou rendimento médio de 23,71%, menor quando comparado com as classes 2, 3 e 4 que mostraram uma semelhança estatística entre seus rendimentos médios, sendo eles 30,38%, 31,13% e 32,91% respectivamente.

A utilização de classes inferiores ao Diâmetro Mínimo de Corte foi devido à não disponibilidade de toras com diâmetros maiores do que 80cm no pátio da serraria, além da classificação das toras ter sido feita em função do diâmetro da ponta fina.

Segundo Rocha (2002), é normal em serrarias que as toras de menores diâmetros apresentem menores rendimentos e, que em toras maiores haja um aumento gradativo do rendimento de acordo com o aumento dos diâmetros das toras. Principalmente em espécies que apresentam boa formação de fuste e poucos defeitos como ocos e rachaduras.

No estudo de rendimento em madeira serrada de 3 espécies tropicais, Marchesan (2012) obteve rendimentos médios de 26,44%, 33,99% e 29,22% para as

espécies *Hymeneae courbaril* (Jatobá), *Astronium lacointei* Ducke (Muiracatiara) e *Brosimum rubescens* (Muirapiranga) respectivamente. Sendo assim, a espécie que mais se aproximou aos resultados obtidos da Sucupira-Vermelha foi a Muirapiranga, porém numa comparação entre 4 classes diamétricas da muirapiranga, a autora revela que não houve diferença significativa de rendimento, diferindo do presente trabalho. Outros autores avaliando o rendimento de espécies tropicais como Danielli *et al.*, (2016), Biasi (2007), também encontraram resultados onde as diferenças entre as classes de diâmetro não foram significativas.

Mesmo se as diferenças forem não-significativas, dentro de uma escala de produção elas são importantes para tomar decisões visando a redução de custos de produção (MARCHESAN, 2012) e redução de resíduos gerados pela serraria (ROCHA, 2002).

Marchesan (2012) também observou uma diferença estatística significativa de rendimento somente na primeira classe de diâmetro para a espécie *Hymeneae courbaril* (Jatobá), ficando as outras classes com rendimentos sem diferenças significativas. Esses resultados corroboram com os encontrados neste trabalho, tendo mesmo comportamento e diferença estatística na mesma classe de diâmetro, o que indica que algumas espécies tropicais podem ser melhor aproveitadas nas serrarias quando exploradas com diâmetros maiores, o que geraria menos desperdício de matéria-prima na forma de resíduos.

Em geral, as menores classes diamétricas não apresentam rachaduras e nem oco, porém o menor rendimento se deve principalmente ao grande volume de resíduos gerados em forma de costaneiras, que nas menores classes representa maior porcentagem em relação ao volume total (ROCHA, 2002).

Assim, esse tipo de trabalho relacionados ao rendimento de madeira serrada contribuem para a definição de Diâmetros Mínimos de Cortes específicos para diferentes espécies, podendo conciliar um maior rendimento com um menor desperdício.

5.3 Geração de resíduos

Na tabela 11, é apresentada a análise de variância da geração de resíduos provenientes do desdobro de toras de *Andira parviflora* Ducke., onde se pode observar

que houve diferença estatística entre os rendimentos das quatro classes diamétricas estudadas, para um nível de probabilidade de 5%.

TABELA 11 - Análise de variância para a geração de resíduos entre as 4 classes diamétricas para a espécie Sucupira-Vermelha (*Andira parviflora* Ducke.).

Fonte	SQ	GL	QM	Valor-P
Classes de Diâmetro	674,9212	3	224,9737	3,22E-12
Residual	348,1105	52	6,694432	
Total	1023,032	55		

Na tabela 12, são apresentados o volume em toras, volume em madeira serrada, volume de madeira em resíduos e porcentagem de resíduos, resultantes das 4 classes diamétricas de toras da espécie tropical Sucupira-Vermelha (*Andira parviflora* Ducke.).

TABELA 12 – Resultados médios obtidos para volume de toras (m³), volume de madeira serrada (m³), volume de resíduos (m³) e resíduo percentual (%) obtidos a partir do desdobro de toras de *Andira parviflora* Ducke. em 4 classes diamétricas.

Classe diamétrica	Intervalo de diâmetro (cm)	Volume de toras (m ³)	Volume de madeira serrada (m ³)	Volume de resíduos (m ³)	Resíduos (%)
1	30-39,9	6,79	1,61	5,18	76,29 a
2	40-49,9	10,73	3,26	7,74	72,13 b
3	50-59,9	14,68	4,55	10,13	69,00 b
4	60-69,9	21,33	7,02	14,31	67,09 b

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

Observando a tabela 12, percebe-se que os volumes de resíduos gerados no desdobro das toras apresentaram uma gradual diminuição da menor classe (1) para a maior classe (4), seguindo o comportamento inverso do rendimento. A classe 1 (30-39,9cm) foi a única que apresentou diferença significativa em relação às outras, sendo a com maior geração de resíduos. As classes de diâmetro 2, 3 e 4 não apresentaram diferenças significativas entre elas, sendo a classe 4 a com menor geração de resíduos percentual.

O rendimento em madeira serrada tem uma tendência de aumento de acordo com as classes de diâmetro das toras, onde toras mais grossas em geral rendem mais durante o desdobro. A geração de resíduos, por outro lado, possui um comportamento inverso, onde toras com maiores diâmetros tendem a gerar menos resíduos. Segundo Mendes *et al.*, (2004) a geração de resíduos é inevitável ao se desdobrar uma tora,

sendo que são diversos fatores que determinam o volume e tipos de pedaços e fragmentos gerados. Os principais fatores são o diâmetro da tora e as dimensões dos produtos finais. Outros fatores importantes são presença de rachaduras, ocos, nós, brocas, tortuosidade do fuste, entre outros.

Danielli *et al* (2016) observou uma geração de resíduo médio de 70,06% para a espécie *Manilkara* spp. (Maçaranduba) e, Marchesan (2012) obteve 73,57%, 69,25% e 65,21% de resíduos oriundos do desdobro de toras das espécies *Hymeneae courbaril* (Jatobá), *Astronium lacoointei* Ducke (Muiracatiara) e *Brosimum rubescens* (Muirapiranga), respectivamente. Esses dados corroboram com os 70,48% (intervalo de confiança de $\pm 1,13\%$) obtidos para a espécie estudada neste trabalho. Mostrando assim, uma tendência de baixos rendimentos e alta geração de resíduos nas indústrias de madeira serrada tropical.

A geração de resíduos e conseqüentemente, o rendimento em madeira serrada sofre influência do tipo de serra, reaproveitamento de aparas e costaneiras, e da metodologia utilizada no desdobro, sendo que a utilização de técnicas adequadas pode afetar consideravelmente o rendimento, (BIASI, 2007). Tonini et al. (2004) ressaltam que a seleção das toras pelo seu diâmetro, e a posterior aplicação de um sistema de corte definido em função de determinadas bitolas é condição necessária para a maximização do lucro de uma serraria.

5.4 Modelos matemáticos testados para estimativa de rendimento em madeira serrada

Analisando as tabela 15 (correlação de Pearson) e 16 (ajuste modelos) observamos que os modelos 10 e 12 que, apesar de apresentarem bons parâmetros qualitativos de ajuste, possuem um problema de multicolinearidade entre as variáveis diâmetro e volume, evidenciado pela tabela 12. O teste de Pearson apontou uma correlação de 0,993 entre as variáveis independentes diâmetro e volume da tora, além do mais, outra desvantagem em utilizar os modelos 10, 11 e 12 está na dificuldade da coleta da variável independente volume em relação à variável diâmetro.

TABELA 13 – Valores obtidos pela Correlação de Pearson para as variáveis utilizadas.

	D	L	Vt	Rend
D	1			
L	0,201331	1		
Vt	0,993307	0,25684	1	
Rend	0,721588	0,040199	0,687377	1

Onde: Dpf= diâmetro da ponta fina da tora (cm); Vt= volume da tora (m³); Do= diâmetro do oco (cm); Vo= volume do oco (m³); L= comprimento da tora (m).

Na tabela 15, observamos que a maior correlação ocorreu entre as variáveis volume da tora (Vt) e o diâmetro (D) ($r=0,993$), entre o rendimento (Rend) e o diâmetro da tora (D) ($r=0,722$) e, entre o volume da tora (Vt) e o rendimento (Rend) ($r=0,687$). A menor correlação observada foi entre o diâmetro da tora (D) e o comprimento da tora (L) ($r=0,201$).

Esses resultados seguiram o mesmo comportamento evidenciado por Danielli *et al.* (2016) que testaram modelos para estimar o rendimento em madeira serrada no desdobro de toras de *Manilkara sp.* e encontraram maior correlação linear entre a variável independente volume da tora e a variável dependente diâmetro da ponta fina ($r=0,927$) e entre o volume da tora e o rendimento ($r=0,805$), e a menor correlação entre o diâmetro da ponta fina e comprimento da tora ($r=0,200$).

Valério *et al.* (2009), testando modelos para estimar o rendimento em madeira serrada no desdobro de toras de *Araucaria angustifolia*, encontraram maior correlação linear entre a variável independente volume da tora e a variável dependente rendimento ($r=0,972$) e entre o diâmetro na ponta fina e o rendimento ($r=0,969$), e a menor correlação entre o diâmetro da ponta fina e comprimento da tora ($r=0,464$).

No ajuste de equações foram utilizadas as 56 toras, independente da classe diamétrica, para testar 12 modelos matemáticos para a estimativa do rendimento em madeira serrada, onde o coeficiente de determinação ($R^2_{ajust.}$), erro padrão da estimativa (S_{yx}) e o coeficiente de variação (CV%) determinaram a qualidade do ajuste do modelo (tabela 13).

TABELA 14 – Modelos matemáticos testados para estimar o rendimento em madeira serrada de toras de *Andira parviflora* Ducke. com seus respectivos coeficientes.

Nº	Modelo	Coeficientes			Qualidade do Ajuste		
		β_0	β_1	β_2	R^2	S_{yx} (m ³)	CV(%)
1	$R=\beta_0+\beta_1D$	-0,38736956	0,01340091		0,957	0,031	10,49
2	$R=\beta_0+\beta_1D+\beta_2L$	-0,39123416	0,01339943	0,00087386	0,956	0,030	10,39
3	$R=\beta_0+\beta_1D^2$	-0,05950115	0,00013100		0,965	0,027	9,31
4	$R=\beta_0+\beta_1D^2+\beta_2L^2$	-0,07432499	0,00013089	0,00074383	0,966	0,027	9,23
5	$R=\beta_0+\beta_1DL$	-0,36810386	0,00288593		0,946	0,033	11,21
6	$R=\beta_0+\beta_1DL^2$	-0,04803206	0,00000621		0,950	0,034	11,61
7	$R=\beta_0*D^{\beta_1}$	0,00001252	2,54052440		0,968	0,029	9,83
8	$R=\beta_0*D^{\beta_1}*L^{\beta_2}$	0,00000962	2,53720420	0,18346204	0,968	0,029	9,74
9	$R=\beta_0*DL^{\beta_1}$	0,00000038	2,47808953		0,962	0,035	12,02
10	$R=\beta_0*D^{\beta_1}*Vt^{\beta_2}$	0,00005448	2,17028013	0,18346204	0,968	0,029	9,83
11	$R=\beta_0*Vt^{\beta_1}$	0,30220171	1,25681443		0,967	0,030	10,30
12	$R=\beta_0*DL^{\beta_1}*Vt^{\beta_2}$	44157,69046423	-2,17028013	2,35374216	0,968	0,029	9,83

R: rendimento da tora (m³), D: diâmetro da ponta fina da tora (cm), L: comprimento da tora (m), Vt: volume da tora (m³); β_0 , β_1 e β_2 : coeficientes da regressão.

Os coeficientes de determinação ajustados variaram entre 0,946 e 0,966 nos modelos lineares, enquanto que nos modelos não-lineares, esse coeficiente foi maior, variando entre 0,962 e 0,968. Sendo assim, o modelo que apresentou o menor R^2_{ajus} foi a 5 (linear) e os modelos 7, 8, 10 e 12 (não-lineares) apresentaram o maior coeficiente de determinação ajustado.

Analisando a tabela 13, observa-se que os modelos 3 e 4 (lineares) apresentaram o menor valor de erro padrão da estimativa (0,027 m³) e a equação 9 (não-linear) apresentou o maior S_{yx} (0,035 m³). Com relação ao coeficiente de variação, vemos que o modelo 9 também apresentou o maior valor (12,02%), enquanto que o menor valor foi obtido pelo modelo 4 (9,23%).

Levando em consideração os parâmetros determinantes da qualidade do ajuste dos modelos (R^2_{ajus} , S_{yx} e CV%) o modelo 5 e 6, lineares de simples entrada, apresentaram as mais baixas qualidades de ajuste dentre os 12 testados, sendo o coeficiente de determinação ajustado, erro padrão da estimativa e coeficiente de variação 0,946, 0,033 m³ e 11,21%; e 0,950, 0,034 m³ e 11,61% respectivamente. Em contrapartida, o modelo 8, não-linear de simples entrada, foi o que apresentou a melhor qualidade de ajuste, sendo o coeficiente de determinação ajustado, o erro

padrão da estimativa e o coeficiente de variação 0,968, 0,029 m³ e 9,74%, respectivamente.

É importante salientar que o modelo 7 é de simples entrada, contando somente com a variável independente diâmetro (D), o que é uma característica importante na escolha da equação devido a facilidade e maior praticidade na mensuração e possui menor risco de incidência de erros amostrais (HIGUCHI *et al.*, 1998).

Danielli *et al.*, (2016), testando 12 modelos matemáticos para estimar o rendimento em madeira serrada de *Manilkara* sp., obteve coeficientes de determinação ajustados entre 0,466 e 0,852, assim ficando um pouco abaixo dos encontrados no presente trabalho, isso se deve principalmente a diferença de uniformidade das medidas das toras, onde estes autores utilizaram comprimentos de toras variados enquanto este trabalho teve que padronizar o comprimento em 4,5m para que a serraria atendesse ao pedido expedido.

Assim, a fraca correlação observada entre as variáveis independentes diâmetro da tora (D) e comprimento da tora (L) as tornam importantes para a composição de modelos (DANIELLI *et al.* 2016), assim o modelo 8, de dupla entrada, compostos justamente por essas variáveis independentes, apresentou estatísticas consistentes, com coeficiente de determinação ajustado (R^2_{ajust}) alto (0,968), erro padrão da estimativa baixo ($Syx=0,029$) e distribuição homogênea dos resíduos (figura 9). Outro modelo que obteve valores interessantes de qualidade de ajuste foi o 7, de simples entrada, com estimativas muito similares ao modelo 8, com um coeficiente de variação mais alto ($CV\%=9,83$) em relação ao modelo 8 ($CV\%=9,74\%$), sendo estes os modelos mais recomendados nesse estudo para a estimativa do rendimento em madeira serrada no desdobro de toras de *Andira parviflora* Ducke.

Outro parâmetro importante utilizado para avaliar a qualidade do ajuste de modelos matemáticos foram os gráficos de dispersão, conforme apêndice, onde podemos observar que as equações não-lineares tiveram uma menor dispersão dos dados de estimativa, sendo assim mais precisos que os lineares. Os 12 modelos mostraram uma tendência a superestimar o rendimento de toras da classe de 30cm e subestimar o rendimento de toras da classe de 40cm, sendo as estimativas das toras das classes de 50cm e 60cm mais equilibradas. Os modelos lineares 1, 2 e 4, apesar

de superestimar o rendimento na classe de 30cm, tiveram três outliers subestimando muito o rendimento, assim aumentando imprecisão.

Portanto, os modelos não-lineares 7 (simples entrada) e 8 (dupla entrada) apresentaram uma maior qualidade de ajuste, ambos com coeficiente de determinação ajustado (R^2) de 0,968, erro padrão da estimativa (Syx) baixo de 0,0029 e coeficiente de variação (CV%) baixos de 9,83% e 9,74% respectivamente, além de ter a distribuição de resíduos mais homogênea e terem como variáveis independentes o diâmetro (D) e comprimento (L), que possuem fraca correlação sendo assim de grande importância para composição de modelos matemáticos visando a estimativa de madeira serrada a partir de toras da espécie *Andira parviflora* Ducke., sendo 7 o mais prático por ser de simples entrada (D) e o 8 possuir uma precisão maior por ter o coeficiente de variação menor (9,74%).

6. CONCLUSÃO

A espécie tropical Sucupira-Vermelha, apresentou um aumento de rendimento em função do aumento do diâmetro das toras e conseqüente diminuição na geração de resíduos durante o processo de desdobro.

Esse comportamento de aumento de rendimento em função do aumento do diâmetro da tora mostra que é mais viável explorar árvores com diâmetros maiores visando um melhor aproveitamento da matéria prima.

Os modelos não-lineares 7 ($R = 0,00001252 * D^{2,54052440}$), de simples entrada, e 8, ($R = 0,00000962 * D^{2,53720420} * L^{0,18346204}$) de dupla entrada, se mostraram os mais adequados para estimativa do rendimento de madeira serrada da espécie Sucupira-Vermelha (*Andira parviflora* Ducke.).

7. BIBLIOGRAFIA

ABIMCI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Estudo setorial 2016**. Ano base 2015.

BAITZ, W.; PEREIRA, D. e LENTINI, M. 2008. **O setor madeireiro da Amazônia Brasileira**. IMAZON. Belém/PA.

BARBOSA, A. P.; VIANEZ, B. F.; VAREJÃO, M. J.; ABREU, R. L. S. **Consideração sobre o Perfil Tecnológico do Setor Madeireiro na Amazônia Central**, 2001.

BATISTA, D. C.; CARVALHO, A. M. 2007. **Avaliação do desempenho operacional de uma serraria através de estudo do tempo, rendimento e eficiência**. *Scientia Forestalis*, 75: 31-38.

BIASI, C. P. **Rendimento em madeira serrada, geração de resíduos e eficiência no desdobro de três espécies tropicais**. Curitiba – PR, 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná.

BRAZ, E. M.; PASSOS, C. A. M.; OLIVEIRA, L. C.; D'OLIVEIRA, M. V. N., 2005. **Manejo e exploração sustentável de florestas naturais tropicais: opções, restrições e alternativas**. Documentos 110. Embrapa Florestas, Colombo/PR.

CAVALLET, J.; OLIVEIRA, A. L. A.; ARRUDA, T. P. M.; ACOSTA, F. C. 2010. **Rendimento em madeira de Jatobá (*Hymenaea courbaril*)**. Anais do II SICCA – II Simpósio de Iniciação Científica das Ciências Agrárias. Alta Floresta/MT. p.20-23.

CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). **Resolução CONAMA Nº 406, de 08 de Fevereiro de 2009**. Estabelece parâmetros técnicos a serem adotados na elaboração, apresentação, avaliação técnica e execução de Plano de Manejo Florestal Sustentável - PMFS com fins madeireiros, para florestas nativas e suas formas de sucessão no bioma Amazônia.

CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). **Resolução CONAMA Nº 474, de 06 de Abril de 2016**. Dispõe sobre procedimentos para inspeção de indústrias consumidoras ou transformadoras de produtos e subprodutos florestais madeireiros de origem nativa, bem como os respectivos padrões de nomenclatura e coeficientes de rendimento volumétricos, inclusive carvão vegetal e resíduos de serraria, e dá outras providências.

DANIELLI, F. E; GIMENEZ O. G; OLIVEIRA C. K. A; SANTOS J; HIGUCHI N. 2016 **Modelagem do rendimento no desdobro de toras de *Manilkara* spp. (SAPOTACEAE) em serraria do estado de Roraima, Brasil**. *Scientia Forestalis*, v. 44, n. 111, p. 641-651.

DE PAULA, J. C. M. de. **Aproveitamento de resíduos de madeira para confecção de briquetes**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - Instituto de Florestas. Seropédica - RJ, 2006.

DUTRA, R. I. J. P.; NASCIMENTO, S. M. NUMAZAWA, S. 2005. **Resíduos de indústria madeireira: Caracterização, consequência sobre o meio ambiente e opções de uso**. Revista científica eletrônica de Engenharia Florestal, edição n. 5.

FATOS FLORESTAIS DA AMAZÔNIA. **Mercado e preço da madeira amazônica**. Instituto do homem e meio ambiente da Amazônia – IMAZON, 2010.

GARCIA, F. M.; MANFIO, D. R.; SANSÍGOLO, C. A. MAGALHÃES, P. A. D. 2012. **Rendimento no desdobro de toras de Itaúba (*Mezilaurus itauba*) e Tauari (*Couratari guianensis*) segundo a classificação da qualidade da tora**. Floresta e Ambiente. 19(4): p.468-474.

GOMES, A. P. C.; SOUZA, A. L.; MEIRA NETO, J. A. A. 2004. **Alteração estrutural de uma área florestal explorada convencionalmente na bacia do Paraíba do sul, Minas gerais, nos domínios de floresta atlântica**. Revista Árvore, v.28, n.3, Viçosa/MG. p. 407-417.

GOMIDE, J. L. 1974. **Serraria**. Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, Viçosa/MG, 119p.

HIGUCHI, N.; RAMM, C. W. 1998. **Developing Bole Wood Volume Equations for a Group of Tree Species of Central Amazon (Brazil)**. Commonwealth Forestry Review, Oxford, v. 64, n.1, p. 33-41.

HIGUCHI, N.; CLEMENT, C. R. A floresta amazônica e o futuro do Brasil. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 58, n. 3, p. 44-49, 2006.

IWAKIRI, S. 1990. **Rendimento e condições de desdobro de 20 espécies de madeiras da Amazônia**. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Acta Amazonica, 20 (único): 271-281 p. Manaus-AM.

LATORRACA, J. V. F. 2004. **Processamento mecânico da madeira**. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 116p.

LENTINI, M.; PEREIRA, D.; CELENTANO, D.; PEREIRA, R. 2005. **Fatos florestais da Amazônia**. Imazon. Belém/PA. 4 p.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. 2006. **Dendrometria**. 2.ed. Curitiba/PR. 316 p.

MANHIÇA, A. A. 2010. **Rendimento e eficiência no desdobro de *Pinus* sp. utilizando modelos de corte numa serraria de pequeno porte**. Dissertação de mestrado. Setor de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná-UFPR. Curitiba/PR.

MARCHESAN, R. 2012. **Rendimento e qualidade de madeira serrada de três espécies tropicais**. Universidade Federal do Paraná. Dissertação de mestrado. Curitiba/PR. 94 p.

MURARA JUNIOR, M. I. **Rendimento em madeira serrada de pinus para desdobro**. Revista da Madeira, Edição nº 99, setembro de 2006.

PEREIRA, D.; SANTOS, D.; VEDOVETO, M.; GUIMARÃES, J.; VERÍSSIMO, A. 2010. **Fatos florestais da Amazônia**. Imazon. 4 p. Belém/PA.

PONCE, R. H. **Madeira serrada de eucalipto: desafios e perspectivas**. Anais do seminário internacional de utilização da madeira de eucalipto para serraria – 50. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – DPTF/IBF, Abril de 1995.

REVISTA DA MADEIRA (REMADE). **Bioenergia: Energia Limpa e Abundante**. Curitiba, Lettech Editora e Gráfica Ltda, 2016.

ROCHA, M. P. 1999. **Desdobro primário da madeira**. Série Didática Fupef, Curitiba, n.02, p.1-61.

ROCHA, M. P. ***Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como fontes de matéria prima para serrarias**. Tese – Doutorado. Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2002. 185p.

SANTOS, J. dos. 1996. **Análise de modelos de regressão para estimar a fitomassa da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia Brasileira**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. 121 p.

SCOLFORO, J. R. S. 1997. **Técnica de regressão aplicada para estimar: volume, biomassa, relação hipsométrica e múltiplos produtos de madeira**. Lavras: ESAL: FAEPE, 292 p.

SILVA, H. D.; FERREIRA, C. A.; CORRÊA, R. S.; BELLOTE, A. F. J.; TUSSOLINI, E. L. 2004. **Alocação de biomassa e ajuste de equações para estimativa de biomassa em compartimentos aéreos de *Eucalyptus benthamii***. Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n. 49, p. 83-95.

SOUZA, C. I. F. 2006. **Rendimento do desdobro de toras, utilização dos resíduos e otimização do tempo de trabalho com uma serraria portátil (Lucas Mill) numa comunidade rural na Amazônia**. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 82 p.

SOUZA, A. N.; OLIVEIRA, A. D.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M.; CARVALHO, L. M. T. 2007. **Modelagem do rendimento no desdobro de toras de eucalipto cultivado em sistema agroflorestal**. *Cerne*, v.13, n.2, p.222-238.

STERNADT, G. H. 2001. **Cubagem de toras de mogno – Comparação do processo do IBAMA e o adotado por madeireiras**. xi, 65 p: il. Laboratório de produtos florestais, IBAMA. Brasília/DF.

TONINI, H.; FERREIRA, L. M. M. 2004. **Rendimento em madeira serrada de cupiúba (*Goupia glabra*), caferana (*Erisma uncinatum*) e angelim-pedra (*Dinizia excelsa*)**. EMBRAPA. Comunicado técnico 07, ISSN 0102-099.

TSOUMIS, G. **Science and technology of Wood: structure, properties, utilization**. New York: Champman and Hall, 1991.

VALÉRIO, A. F.; SANTOS, R. T.; SILVESTRE, R.; KOEHLER, H. S.; WATZLAWICK, L. F. 2007. **Ajuste de modelos matemáticos para estimativa de biomassa nos distintos componentes de uva do japão (*Hovenia dulcis* Thunb.)**. *Ambiência*, Guarapuava, v. 3, n. 3, p. 325-336.

VALÉRIO, A. F.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; CALDEIRA, M. V. W; FIGUEIREDO FILHO, A. 2008. **Modelagem para a estimativa do rendimento no desdobro de toras de *araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze**. *Floresta*, Curitiba/PR, v. 39, n. 3, p. 619-628.

VITAL, B. R. **Planejamento e operação de serrarias**. Universidade Federal de Viçosa, MG, 2008.

APÊNDICE – DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS GERADOS PELOS MODELOS MATEMÁTICOS TESTADOS

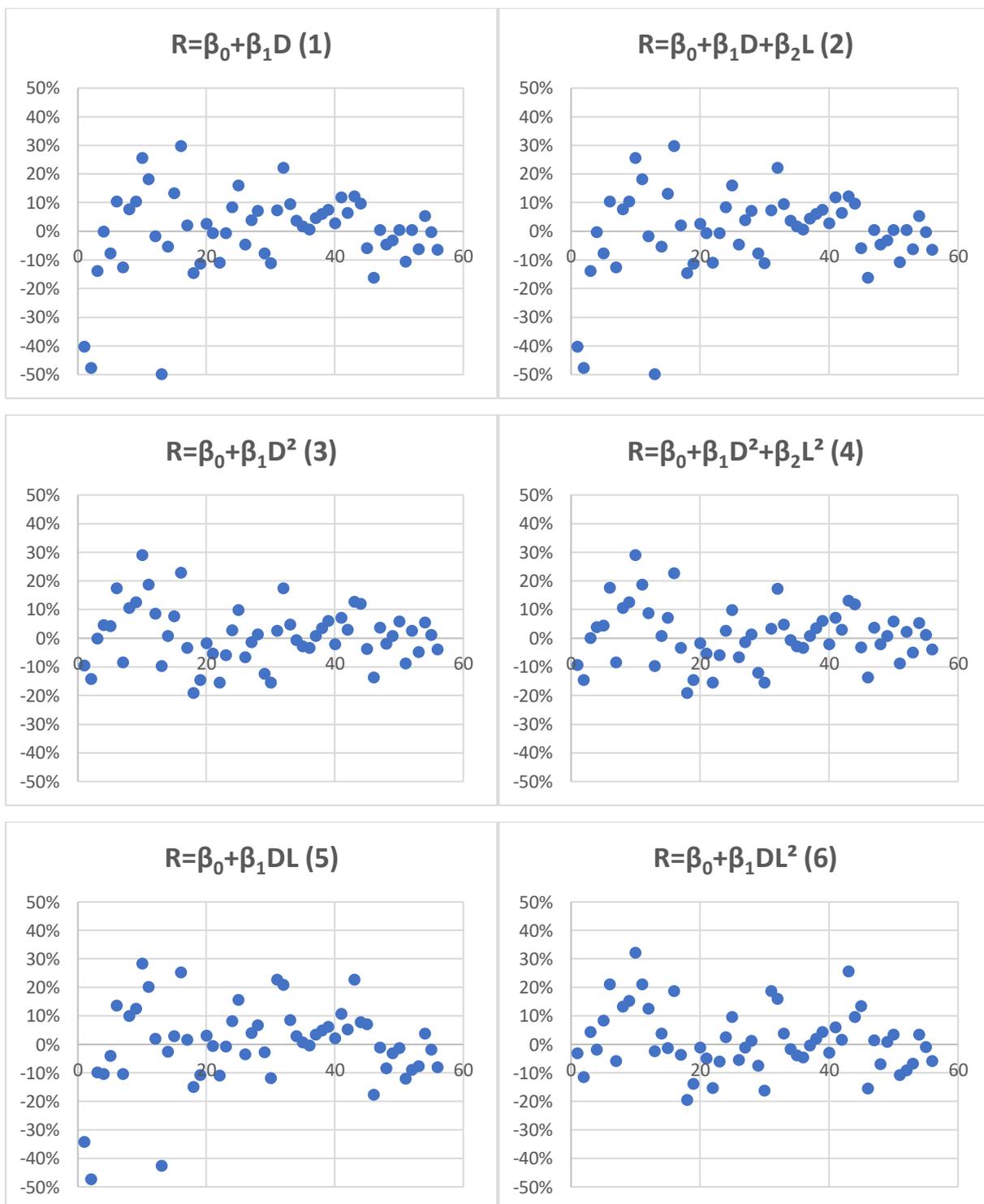


FIGURA 9a – Distribuição gráfica dos resíduos de todos os modelos (1 a 6) testados para todas as toras de *Andira parviflora* Ducke.

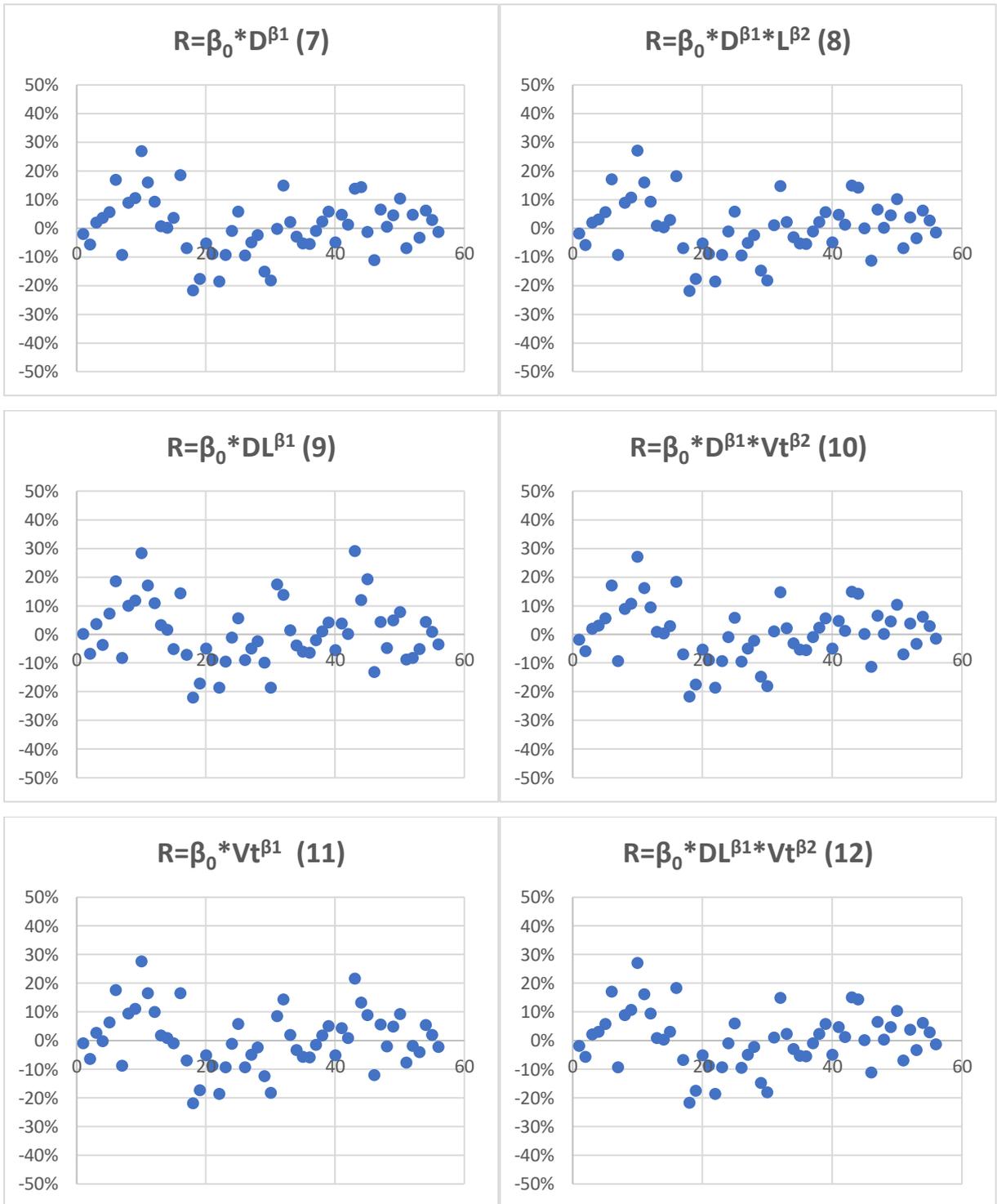


FIGURA 9b – Distribuição gráfica dos resíduos de todos os modelos (7 a 12) testados para todas as toras de *Andira parviflora* Ducke.