

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

Karina Lanzarin

**RELAÇÕES MORFOMÉTRICAS E POTENCIAL DE MANEJO DE  
*Maclura tinctoria* (L.) D. Don Ex. Steud EM FORMAÇÕES  
SECUNDÁRIAS NO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL**

Santa Maria, RS, Brasil  
2016

Karina Lanzarin

**RELAÇÕES MORFOMÉTRICAS E POTENCIAL DE MANEJO DE *Maclura tinctoria* (L.) D. Don Ex. Steud EM FORMAÇÕES SECUNDÁRIAS NO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Florestal**.

Orientador: Prof. Dr. Frederico Dimas Fleig

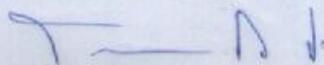
Santa Maria, RS  
2016

Karina Lanzarin

**RELAÇÕES MORFOMÉTRICAS E POTENCIAL DE MANEJO DE *Maclura tinctoria* (L.) D. Don Ex. Steud EM FORMAÇÕES SECUNDÁRIAS NO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Florestal**.

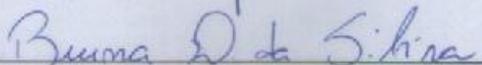
Aprovado em 25 de fevereiro de 2016



Dr. Frederico Dimas Fleig  
(Presidente/Orientador)



Dr. Helio Tonini  
(Examinador)



Dra. Bruna Denardin da Silveira  
(Examinadora)

Santa Maria, RS  
2016

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu orientador Prof. Frederico Dimas Fleig pela atenção e orientação.

Ao PPGEF/UFSM, e aos professores pelo conhecimento transmitido.

À CAPES pela concessão de bolsa.

Ao colega Eng. Fltal Rodrigo Coldebella pela disposição e imenso auxílio na coleta de dados.

Aos queridos Lilian D. Pereira e Evandro A. Meyer pela amizade, enriquecedora convivência e por sempre estarem dispostos a ajudar.

Aos colegas do Laboratório de Manejo Florestal e PPGEF pela convivência, amizade e momentos de descontração.

Aos membros da banca examinadora, Dr. Helio Tonini e Dra. Bruna D. Silveira pela disponibilidade em contribuir com este trabalho.

À minha família pelo amor, incentivo e paciência.

E a todos que contribuíram de uma forma ou de outra para que eu concluísse mais esta etapa.

**MUITO OBRIGADA!**

“Use what talents you possess: The woods would be very silent if no birds sang there except those that sang best.”

*(Henry Van Dyke)*

## RESUMO

### RELAÇÕES MORFOMÉTRICAS E POTENCIAL DE MANEJO DE *Maclura tinctoria* (L.) D. Don Ex. Steud EM FORMAÇÕES SECUNDÁRIAS NO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL

AUTORA: Karina Lanzarin  
ORIENTADOR: Frederico Dimas Fleig

O objetivo do presente trabalho foi caracterizar indivíduos de *Maclura tinctoria* em formações secundárias antropizadas, quanto a seus aspectos de crescimento em diâmetro e área basal, suas relações morfométricas, distribuição espacial e regularidade da copa. Além de analisar o comportamento de indivíduos com mais de um fuste, denominados multitrancos, e ainda elaborar modelos de regressão para estimar o crescimento em área basal, diâmetro de copa e altura. Para isso, foram medidos, em duas áreas distintas em Porto Mauá, RS, o diâmetro à altura do peito, altura total, diâmetro de copa e densidade pontual (pelo método de Bitterlich) de cada indivíduo. Os índices morfométricos foram calculados com base nos dados obtidos à campo. A regularidade da copa foi obtida através do coeficiente de variação dos raios de copa. Para análise espacial calculou-se a função K de Ripley. O incremento periódico anual em diâmetro (IPAd) e em área basal (IPAg) foram obtidos por análise dos anéis de crescimento. A fim de verificar que variáveis influenciam nestes incrementos, foi realizada análise de correlação de Pearson. Elaborou-se equações matemáticas, pelo método *stepwise*, para estimar o incremento em área basal, diâmetro de copa e altura total. A tendência dos indivíduos multitrancos em relação aos com fuste único para todas as variáveis foi verificada utilizando análise de covariância. As árvores multitrancos no geral demonstram tendência semelhante às árvores com fuste único. A espécie estudada possui crescimento moderado à rápido, apresentando, portanto, grande potencial para manejo. A distribuição espacial indicou agrupamentos para uma escala superior a 15 metros. Os índices morfométricos variaram amplamente, demonstrando a plasticidade da espécie. Assim como a variação nos raios de copa foi ampla, caracterizando sua irregularidade. As variáveis morfométricas, não exerceram influência significativa no incremento em diâmetro dos indivíduos de *Maclura tinctoria*. O que indica que o crescimento em diâmetro é estatisticamente o mesmo, independente da forma da árvore. Contudo, o grau de esbeltez e índice de abrangência apresentaram correlação com o incremento periódico em área basal. Foi possível definir equações com bons ajustes para a altura, diâmetro de copa e incremento em área basal da espécie. Todas as equações elaboradas tiveram como variável dependente o DAP, indicando a forte correlação desta variável com as demais características das árvores de *Maclura tinctoria*.

**Palavras-chave:** Crescimento. Tajuva. Árvores singulares. Análise de Regressão. Relação hipsométrica. Índices morfométricos. *Stepwise*.

## ABSTRACT

### MORPHOMETRIC RELATIONS AND MANAGEMENT POTENCIAL OF *Maclura tinctoria* (L.) D. Don ex. Steud IN SECONDARY FORMATIONS IN NORTHWEST RIO GRANDE DO SUL

AUTHOR: Karina Lanzarin  
ADVISOR: Frederico Dimas Fleig

The objective of this study was to characterize *Maclura tinctoria* individuals in anthropic secondary formations, as their growth aspects in diameter and basal area, their morphometric relationships, spatial distribution and crown regularity. Also analyzing the behavior of individuals with more than one trunk, called multitrunks, and establish regression models to estimate basal area increment, crown diameter and height. For this, they were measured in two distinct areas in Porto Mauá, RS, diameter at breast height, total height, crown diameter and punctual density of each individual (using Bitterlich method). The morphometric indices were calculated based on data obtained from the field. The regularity of the crown was obtained by the coefficient of variation of the crown rays. For spatial analysis was calculated K Ripley function. The annual periodic increment in diameter (IPAd) and basal area (IPAg) were obtained by analysis of growth rings. In order to verify if these variables influence increments, Pearson correlation analysis was performed. It was developed mathematical equations, the stepwise method to estimate the increment in basal area, crown diameter and total height. The tendency of multitrunks individuals in relation to the single-stem for all variables was verified using analysis of covariance. The multitrunks trees in general show a similar tendency to the trees with a single stem. The studied species have moderate growth to fast, presenting therefore great potential for management. The spatial distribution indicated groupings to a higher range to 15 meters. Morphometric indices varied widely, demonstrating the plasticity of the species. As the variation in crown rays was extensive, featuring its irregularity. The morphometric variables, did not exert significant influence on the increment in diameter of *Maclura tinctoria* individuals. This indicates that the growth in diameter is statistically the same regardless of tree form. However, the degree of slenderness and comprehensiveness index correlated with the periodic increment in basal area. It was possible to define equations with good settings for height, crown diameter and increment in basal area of the species. All the elaborate equations had dbh as dependent variable, indicating the strong correlation of this variable with the other characteristics of trees *Maclura tinctoria*.

**Keywords:** Growth. Tajuva. Singular trees. Regression analysis. Hypsometric relation. Morphometric indices. *Stepwise*.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização geográfica do município de Porto Mauá, RS.....	25
Figura 2 – Localização das áreas plana e de encosta em Porto Mauá, RS. ....	26
Figura 3 – Visão geral das áreas plana e de encosta em Porto Mauá, RS. ...	27
Figura 4 – Indivíduo arbóreo de <i>Maclura tinctoria</i> em Porto Mauá, RS.....	28
Figura 5 – Modelo esquemático de medição de variáveis dendrométricas da árvore. .....	30
Figura 6 – Anéis de crescimento visualizados nos rolos de incremento de <i>Maclura tinctoria</i> .....	32
Figura 7 – Distribuição espacial dos indivíduos de <i>Maclura tinctoria</i> na área plana em Porto Mauá, RS.....	36
Figura 8 – Distribuição espacial dos indivíduos de <i>Maclura tinctoria</i> na área de encosta em Porto Mauá, RS. ....	36
Figura 9 – Função K de Ripley para <i>Maclura tinctoria</i> nas áreas plana e de encosta em Porto Mauá, RS.....	37
Figura 10 – Distribuição espacial dos indivíduos de <i>Maclura tinctoria</i> em função do seu diâmetro de copa em subamostra da área plana em Porto Mauá, RS. ....	38
Figura 11 – Relação entre diâmetro à altura do peito, diâmetro de copa e altura total de <i>Maclura tinctoria</i> , Porto Mauá, RS.....	40
Figura 12 – Histograma de frequência de diâmetro à altura do peito de <i>Maclura tinctoria</i> por áreas analisadas em Porto Mauá, RS. ....	41
Figura 13 – Histograma de altura de <i>Maclura tinctoria</i> nas difentes áreas analisadas, Porto Mauá, RS.....	42
Figura 14 – Comportamento da altura das árvores em relação ao diâmetro à altura do peito de <i>Maclura tinctoria</i> em Porto Mauá, RS.....	43
Figura 15 – Identificação de <i>outliers</i> da variável altura total de <i>Maclura tinctoria</i> utilizando teste D de Cook no <i>software</i> SAS.....	44
Figura 16 – Ajuste de relação hipsométrica de <i>Maclura tinctoria</i> , Porto Mauá, RS. .....	45
Figura 17 – Histograma do diâmetro de copa para <i>Maclura tinctoria</i> , Porto Mauá, RS. .....	46
Figura 18 – Análise de covariância para regularidade de copa de indivíduos multitrancos de <i>Maclura tinctoria</i> em Porto Mauá, RS. ....	47
Figura 19 – Modelo esquemático de irregularidade de copa (Coeficiente de variação= 200%, 75% e 25%) de <i>Maclura tinctoria</i> .....	48
Figura 20 – Análise de covariância do diâmetro de copa de indivíduos de <i>Maclura tinctoria</i> , Porto Mauá, RS. ....	49
Figura 21– Ajuste de equação para diâmetro de copa em função do diâmetro à altura do peito para <i>Maclura tinctoria</i> , Porto Mauá, RS.....	50
Figura 22 – Limites máximo e mínimo da relação diâmetro de copa e DAP em árvores de <i>Maclura tinctoria</i> , Porto Mauá, RS.....	52

Figura 23 – Histograma de frequências de densidade de Bitterlich para indivíduos de <i>Maclura tinctoria</i> em Porto Mauá, RS.....	55
Figura 24 – Análise de covariância para índice de saliência de indivíduos de <i>Maclura tinctoria</i> , Porto Mauá, RS. ....	56
Figura 25 – Análise de covariância para o grau de esbeltez ( $GE = b_0 + b_1 \cdot \ln DAP$ ) dos indivíduos de <i>Maclura tinctoria</i> , Porto Mauá, RS.....	57
Figura 26 - Análise de covariância do comportamento do índice de abrangência de <i>Maclura tinctoria</i> em Porto Mauá, RS.....	59
Figura 27 – Análise de covariância de IPAd em relação às áreas plana e de encosta para <i>Maclura tinctoria</i> em Porto Mauá, RS.....	64
Figura 28 – Análise de covariância em relação às árvores multitruncos de <i>Maclura tinctoria</i> , Porto Mauá, RS. ....	64
Figura 29 – Análise de covariância para o incremento em área basal de <i>Maclura tinctoria</i> nas áreas plana e de encosta em Porto Mauá, RS. ....	65
Figura 30 – Análise de covariância para incremento em área basal de <i>Maclura tinctoria</i> em relação à indivíduos multitruncos, Porto Mauá, RS. ....	66
Figura 31 – Análise Box-Cox do IPAg de <i>Maclura tinctoria</i> no software SAS. .	67
Figura 32 – Histogramas do IPAg não normalizado e com distribuição normal após logartimização de <i>Maclura tinctoria</i> , Porto Mauá, RS.....	68
Figura 33 – Ajuste da curva de IPAg em escala logarítmica em relação ao DAP de <i>Maclura tinctoria</i> , Porto Mauá, RS.....	70

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise de variância e parâmetros estatísticos da relação hipsométrica para <i>Maclura tinctoria</i> .....	45
Tabela 2 – Análise de variância e resumo estatístico dos parâmetros estimados do diâmetro de copa em função da raiz quadrada do diâmetro à altura do peito de <i>Maclura tinctoria</i> ( $D_{\text{copa}}=1.7578+0.2914 \cdot \text{DAP}$ ).....	50
Tabela 3 – Estimativa de áreas de copa máxima e mínima e número de árvores por hectare para <i>Maclura tinctoria</i> , Porto Mauá, RS.....	53
Tabela 4 – Estimativas de espaçamento para plantio de <i>Maclura tinctoria</i> , considerando sua medida de copa em Porto Mauá, RS. ....	53
Tabela 5 – Correlação de Pearson entre IPAd e IPAg e demais variáveis dendrométricas, morfométricas e climáticas. ....	60
Tabela 6 – Análise de variância e resumo estatístico dos parâmetros estimados do IPAg em função do inverso do DAP de árvores de <i>M. tinctoria</i> .....	69

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	13
1.1	OBJETIVOS.....	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1	CRESCIMENTO DAS ÁRVORES.....	16
2.2	RELAÇÕES MORFOMÉTRICAS.....	18
2.3	RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA.....	19
2.4	MODELOS DE DIÂMETRO DE COPA .....	20
2.5	DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS ÁRVORES .....	20
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
3.2	DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA .....	24
3.2.1	<b>Descrição das áreas de estudo</b> .....	26
3.3	OBTENÇÃO DOS DADOS .....	27
3.4	FORMA DA ÁRVORE E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL.....	29
3.5	AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO .....	31
3.6	ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON .....	32
3.7	MODELAGEM DO IPA <sub>g</sub> , RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA E DIÂMETRO DE COPA.....	33
3.8	ESTIMATIVAS DE NÚMERO DE ÁRVORES POR HECTARE (N/ha) E ESPAÇAMENTO EM FUNÇÃO DA ÁREA COPA DE <i>Maclura tinctoria</i> . .....	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
4.1	CARACTERÍSTICAS DA POPULAÇÃO .....	35
4.1.1	<b>Distribuição espacial</b> .....	35
4.1.2	<b>Sub-amostragem de indivíduos agrupados</b> .....	38
4.2	CARACTERÍSTICAS DOS INDIVÍDUOS DE <i>Maclura tinctoria</i> .....	39
4.2.1	<b>Diâmetro à altura do peito (DAP)</b> .....	40
4.2.2	<b>Altura</b> .....	42
4.2.3	<b>Diâmetro de copa</b> .....	46
4.2.3.1	<i>Irregularidade da copa</i> .....	47
4.2.3.2	<i>Modelagem de diâmetro de copa</i> .....	48
4.2.3.3	<i>Estimativas de número de árvores por hectare e espaçamento em função da copa de <i>Maclura tinctoria</i></i> . .....	51
4.2.4	<b>Densidade</b> .....	54
4.3	RELAÇÕES MORFOMÉTRICAS.....	55
4.3.1	<b>Índice de saliência</b> .....	55
4.3.2	<b>Grau de esbeltez</b> .....	57
4.3.1	<b>Índice de abrangência</b> .....	58
4.4	CRESCIMENTO DE <i>Maclura tinctoria</i> .....	60

<b>4.4.1 Variáveis de influência no incremento .....</b>	<b>60</b>
<b>4.4.3 Taxa de crescimento.....</b>	<b>61</b>
<b>4.4.4 Análise de covariância para incremento em diâmetro e área basal</b>	<b>63</b>
<b>4.4.4 Modelagem de incremento periódico anual em área basal .....</b>	<b>66</b>
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>72</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>73</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país florestal, abrigando cerca de 5,5 milhões de km<sup>2</sup> de florestas (65% do seu território), o que representa aproximadamente 10% do total das florestas do mundo. Em geral, a exploração destas florestas nativas tem sido realizada de forma largamente predatória. A adoção do manejo florestal é recente e ainda representa uma pequena fração de toda a produção das matas nativas do Brasil (VERÍSSIMO, 2006).

As florestas nativas possuem três funções essenciais e complementares no desenvolvimento do Brasil. Primeiro, têm uma importância estratégica no desenvolvimento econômico regional. Depois, desempenham um papel essencial nas áreas de segurança social e alimentar para um contingente expressivo da população rural do país. Por último, a floresta nativa, presta serviços ambientais de importância vital para o Brasil e o mundo (VERÍSSIMO, 2006).

Atualmente o território gaúcho conta com 17,53% de florestas nativas e ainda 0,97% de florestas plantadas. Este fato é decorrente do abandono das áreas mais difíceis de serem cultivadas, pelo maior rigor da legislação pertinente e por uma maior conscientização dos proprietários sobre a importância das florestas para o meio ambiente. A região da Bacia do Rio Turvo/Santa Rosa/Santo Cristo possui ainda 3108,17 km<sup>2</sup> de florestas, que representam 36,5% de cobertura florestal, cobertura superior à média do estado (SEMA-RS, 2010).

Para a manutenção do que ainda resta de Mata Atlântica, é necessário apostar em uma nova proposta de desenvolvimento, baseada na sustentabilidade econômica, social e ambiental de cada região. A exploração sustentada de recursos, como madeira, palmito, erva mate, plantas ornamentais e medicinais, associada a outras atividades, como agricultura ecológica, piscicultura e ecoturismo, pode proporcionar fonte permanente de empregos para a população local e fortalecer suas raízes culturais (MARCUSO et. al., 1998)

Estas florestas nativas, sem qualquer intervenção silvicultural, já vem demonstrando elevados incrementos. Porém, se bem manejadas podem alcançar alta produção via tratamentos silviculturais. Entretanto intervenções silviculturais só serão aplicadas corretamente se assentadas em informações básicas sobre as espécies componentes do ecossistema (MATTOS, 2007).

A principal característica de uma floresta nativa é a heterogeneidade. Há grande diversidade de espécies, de diferentes idades e tamanhos, não sendo viável

tratar todos os indivíduos como um povoamento homogêneo. Nestes casos, o manejo deve ser realizado considerando a árvore de forma individual (CHASSOT, 2009).

Pesquisas referentes ao crescimento de árvores singulares nativas são imprescindíveis para o manejo de florestas nativas, na elaboração de planos de manejo em regime sustentado e para reflorestamentos com interesses econômicos. No entanto, no Rio Grande do Sul são escassas as informações em relação ao comportamento e crescimento das árvores nativas, dificultando o manejo sustentável destas florestas (VACCARO et al., 2003; VUADEN, 2013).

Existe uma carência de dados sobre o crescimento de muitas espécies nativas, sobretudo as que são consideradas de baixo valor econômico, produzindo lacunas no conhecimento da relação entre condições ambientais e crescimento das mesmas. Para suprir essa necessidade de informações, a análise de anéis de crescimento pode ser utilizada como uma ferramenta de elevada relevância quando se trata do estudo do crescimento das árvores (SILVEIRA, 2014).

O entendimento da influência do ambiente no crescimento, refletido por variações no tamanho e na forma das árvores, bem como o comportamento passado da taxa de crescimento são essenciais para a execução de planos de manejo florestal. Visto que refletem respostas relacionadas às variações do crescimento, o que vem a auxiliar na prescrição de práticas de manejo e na avaliação dos seus efeitos sobre a sustentabilidade das florestas nativas (CUNHA, 2009).

*Maclura tinctoria*, popularmente conhecida como tajuva, é uma espécie arbórea nativa pertencente à família Moraceae. De ocorrência generalizada no Brasil, sua madeira é densa com alta resistência à xilófagos e com amplas possibilidades de emprego, dentre elas construções civis, navais e carpintaria. Além de ser utilizada como planta medicinal, possuindo propriedades cicatrizantes, antibacterianas e anti-inflamatórias (CARVALHO, 2003; REITZ, 1983). No entanto poucas são as informações disponíveis sobre esta espécie, principalmente a respeito do seu crescimento e potencial produtivo.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Tendo em vista a escassez de informações disponíveis e seu potencial para uso em reflorestamento, o presente trabalho teve como objetivo geral estudar as características da espécie *Maclura tinctoria* em formações secundárias antropizadas.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- a) Descrever a forma da árvore utilizando índices morfométricos;
- b) Caracterizar a regularidade da copa;
- c) Fornecer estimativas de espaçamento e número de árvores por hectare;
- d) Descrever a distribuição espacial dos indivíduos no interior dos povoamentos;
- e) Analisar o comportamento dos indivíduos com mais de um tronco;
- f) Verificar a taxa de incremento em diâmetro e área basal dos últimos dez anos;
- g) Analisar que variáveis influenciam neste crescimento;
- h) Definir equações para estimar o crescimento em área basal, relação hipsométrica e o diâmetro de copa das árvores.

Tais resultados podem vir a auxiliar e embasar as práticas de manejo desta espécie, de maneira que se possa realizar uma exploração sustentável, do ponto de vista econômico e ambiental, além da valorização da mesma.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CRESCIMENTO DAS ÁRVORES

Crescimento é um termo amplo, que significa o aumento gradual de um ser vivo por um processo natural. Em geral é sinônimo de incremento na mensuração florestal (SPURR, 1952). O crescimento das árvores consiste no alongamento e espessamento das raízes, caules e ramos (HUSCH, 2003). Ele acontece em primeiro lugar, nas pontas dos galhos e do fuste, o que aumenta a altura e diâmetro da copa viva; e em segundo lugar, no tecido das células vivas do câmbio, que anualmente deposita uma nova camada de floema e xilema (CHAPMAN, 1949). O crescimento linear de todas as partes da árvore resulta das atividades do meristema primário, enquanto o crescimento em diâmetro resulta das atividades do meristema secundário, ou câmbio (HUSCH, 2003).

O aumento em dimensão da árvore deve ser qualificado pelo período de tempo durante o qual o incremento ocorreu (HUSCH, 2003). Em climas temperados, ou nos trópicos onde o ano é marcado por estações secas e chuvosas, o crescimento ocorre todos os anos, e o lenho inicial geralmente tem uma qualidade mais leve e porosa do que o lenho formado mais tarde, denominado lenho tardio (CHAPMAN, 1949). Quando o período é de um ano, o aumento é denominado Incremento Corrente Anual (ICA), este é a diferença entre as dimensões medidas no início e no final do crescimento do ano (HUSCH, 2003). Em estimativas de crescimento de curto-prazo, o ICA é geralmente desejado. No entanto, não é prático medir apenas o crescimento do ano anterior por causa das flutuações climáticas e outras causas que podem tornar o crescimento do ano atípico (SPURR, 1952).

Normalmente presume-se o incremento médio anual dos últimos cinco ou dez anos. Esta medida é chamada de Incremento Periódico Anual (IPA) e muitas vezes é utilizada no lugar do ICA (HUSCH, 2003). Baseando o crescimento anual sobre dez anos ou outro período semelhante tende-se a eliminar pelo menos parte das variações climáticas (SPURR, 1952).

A estimativa do crescimento é um ponto essencial no manejo florestal. Qualquer planejamento para o futuro envolve a previsão do crescimento (SPURR, 1952). Em florestas nativas, a complexidade e diversidade de sítios, idades e diferentes espécies florestais dificulta o manejo em nível de povoamento e requer

estudos orientados na árvore individual (CHASSOT, 2013). Apesar da complexidade dos processos envolvidos, o crescimento e produção em escala de organismo individual exibem frequente regularidade, que pode ser descrita com funções relativamente simples (PRETZSCH, 2008).

A realização de estudos para conhecer como se desenvolve o crescimento de cada espécie que compõe as florestas nativas, e com o tempo passar a conhecê-las no todo, é fundamental e de elevada importância, pois não se consegue manejá-las e nem planejar a produção futura com êxito devido à falta de informações sobre o crescimento individual de cada espécie componente (DELLA-FLORE, 2001). Vaccaro et. al (2003) também salientam a importância do conhecimento do incremento das árvores a serem manejadas, principalmente na elaboração de planos de manejo em regime sustentado, e comentam que no Rio Grande do Sul há uma carência de informações quanto ao crescimento de árvores nativas.

O crescimento das árvores individuais pode ser expresso como o incremento em diâmetro, área basal, altura, volume, biomassa ou qualidade da copa (MENDES et al., 2006). Para estudar a taxa de crescimento de uma árvore, necessita-se de medições contínuas da variável de interesse. Para tal, a possível reconstrução do crescimento pode ser realizada utilizando princípios da dendrocronologia, que se baseia na visualização e medição dos anéis anuais de crescimento (CUNHA, 2009).

Para se determinar o crescimento e incremento de espécies que compõem as florestas inequidistantes e de diversas espécies deve-se utilizar técnicas de modelagem de crescimento considerando as árvores de maneira individual, pois cada uma apresenta um conjunto de características únicas (periodicidade de crescimento, necessidades de luz, espaço e nutrientes, etc.) (VANCLAY, 1994).

Conforme sua construção, os modelos de crescimento de árvores podem ser biológicos ou empíricos. O modelo biológico, propicia uma boa análise do crescimento com interpretação biológica das variáveis independentes, porém é complexo, e de difícil ajuste e manuseio. Por isto, os modelos empíricos são mais empregados, por serem menos complexos e propiciarem estimativas confiáveis do crescimento e da produção (SCOLFARO, 1998). A principal desvantagem da abordagem empírica, onde o crescimento da árvore é estimado utilizando relações descritivas, é a aplicabilidade restrita destes modelos devido à validade limitada das relações empíricas (PORTÉ; BARTELINK, 2001).

Quando se almeja descrever o crescimento em nível de povoamento ou árvore individual é possível utilizar modelos de crescimento já elaborados, mediante estudos que comprovem sua eficiência na predição florestal, ou construir um modelo com base em variáveis correlacionadas (CUNHA, 2013). Modelos empíricos de produção e crescimento desenvolvidos são em grande parte à nível de árvore individual, descrevendo o crescimento em termos de incrementos em diâmetro (BIGING; DOBBERTIN, 1995).

O crescimento em relação ao tamanho do fuste da árvore individual pode ser modelado e predito como incremento em diâmetro, incremento em área basal, diâmetro futuro ou área basal futura. Pesquisadores discutem a preferência da modelagem do incremento em área basal sobre a modelagem do incremento em diâmetro, eles alegam que o incremento em área basal é preferível, visto que o mesmo seria supostamente mais próximo do crescimento em volume do que o incremento em diâmetro. Outros justificam o uso do incremento em área basal como variável resposta, porque usualmente apresenta um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) maior, porém esta afirmativa é inválida visto que o  $R^2$  não fornece uma comparação válida entre as alternativas. Logo, ambos os argumentos são infundados. O incremento em diâmetro e em área basal são relacionados matematicamente, e qualquer diferença aparente no ajuste dos modelos pode ser devido a diferenças na estrutura do erro, ao invés da superioridade de um modelo sobre o outro (VANCLAY, 1994).

## 2.2 RELAÇÕES MORFOMÉTRICAS

A morfometria é o estudo da forma e sua relação com o crescimento. O processo de crescimento de animais e plantas conduz a mudanças nas características e nas proporções de seus órgãos, isto porque, certos órgãos crescem mais rapidamente do que outros (PRETZSCH, 2008). Uma das consequências do crescimento é a alteração das proporções lineares em relação à área e ao volume (PERES-NETO; 1995).

Durlo (2001) afirmou que a pesquisa das relações interdimensionais das árvores é importante, pois devido a ela pode-se prever o espaço exigido para o desenvolvimento da árvore, verificar a concorrência a que ela está submetida, além de inferir sobre a vitalidade, estabilidade e produtividade de cada indivíduo, servindo

como um instrumento prático para intervenções silviculturais, principalmente no caso de não se conhecer a idade das plantas.

A razão entre o diâmetro de copa e altura total da árvore é conhecida como índice de abrangência. O qual tende a diminuir com o desenvolvimento em altura, visto que este crescimento não é acompanhado na mesma proporção pelo aumento em diâmetro de copa. O grau de esbeltez é a relação entre altura total e o diâmetro à altura do peito. Se esta relação é superior a 1, é um indicativo que o crescimento em diâmetro se encontra reduzido em relação à altura (DURLO e DENARDI, 1998; TONINI E ARCOVERDE, 2005).

A relação entre o diâmetro de copa e o diâmetro à altura do peito é conhecida como índice de saliência, e indica quantas vezes o diâmetro de copa é superior ao DAP. Utilizando este índice, em casos que o manejo do povoamento é previsto pelo diâmetro alcançado, pode-se determinar o número máximo de árvores por área, se existir correlação significativa com o DAP, podendo este índice ser utilizado como indicador de desbaste (DURLO e DENARDI, 1998)

### 2.3 RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA

As relações mais utilizadas para descrever as plantas são aquelas entre o diâmetro do tronco e a altura total da árvore para gerar modelos hipsométricos. Curvas de relação altura/diâmetro (H/D) para espécies arbóreas têm sido muito usadas nos inventários florestais e modelos de crescimento para prever a altura total de árvores não mensuradas. Isto porque a altura geralmente é medida em apenas uma subamostra de árvores, ao contrário do diâmetro, que é mensurado em todas as árvores amostradas.

A análise de regressão produz uma relação funcional entre uma variável dependente e uma ou mais variáveis independentes. Através do uso de análise de regressão, as variáveis dendrométricas que são difíceis de medir e consomem tempo de medição, como a altura, altura de inserção de copa e crescimento em diâmetro podem ser estimados (PRETZSCH, 2008).

Equações que predizem a altura podem ter aplicação local ou uma utilização mais generalizada. Para aplicação local, normalmente é utilizada como variável independente o diâmetro da árvore, sendo então a equação aplicável somente ao local onde os dados de altura e diâmetro foram coletados.

## 2.4 MODELOS DE DIÂMETRO DE COPA

Modelos de diâmetro de copa podem ser formulados a partir de árvores livres ou de árvores em povoamentos. Modelos baseados em árvores em povoamento predizem o tamanho real da copa das árvores em povoamentos florestais e possuem diversas aplicações, incluindo estimativas de área de superfície de copa e o volume, a fim de avaliar a saúde da floresta, também pode ser aplicado para obter informações sobre o perfil de copa da árvore e a arquitetura do dossel, cobertura do dossel da floresta e o arranjo das árvores em programas de visualização da floresta (SANCHEZ-GONZÁLEZ, 2007).

Ambos os tipos de modelos são relacionados com a silhueta da copa, definida como a projeção vertical das extremidades de seus ramos mais longos. Os modelos aproximam o diâmetro médio desta silhueta a partir de medições a campo ao longo de dois ou mais eixos da copa (BECHTOLD, 2003)

Modelos de predição são importantes pois a medição direta de diâmetros de copa a campo é demorada e dispendiosa. A abordagem mais comum para modelar o tamanho da copa é a utilização de relações alométricas para estimar seu tamanho (comprimento de copa, proporção de copa, altura de inserção de copa, etc.) usando características dimensionais da árvore e do povoamento correlacionadas com as mesmas, como o diâmetro à altura do peito, altura, idade, área basal, ou medidas de concorrência. Esta abordagem se mostra interessante principalmente quando há somente uma única observação do tamanho e características de copa (BECHTOLD, 2003, HASENAUER E MONSERUD, 1996).

## 2.5 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS ÁRVORES

O padrão de distribuição de uma espécie se refere à distribuição espacial dos indivíduos pertencentes àquela espécie em uma determinada área, e é uma importante característica da estrutura do povoamento florestal. O conhecimento da distribuição espacial de cada espécie facilita os programas de aproveitamento como também oferece valiosa informação para o manejo florestal, silvicultura, dendrologia e ecologia. Identificar de que forma estes indivíduos se distribuem em uma comunidade é um dos primeiros passos para se entender a dinâmica de populações vegetais (SOUZA, 2013).

Os indivíduos de uma espécie ou população em uma área podem estar distribuídos ao acaso, agrupados em manchas ou em intervalos regulares (SOUZA, 2013). Existem diversas metodologias para se analisar o padrão de distribuição espacial. A função K, definida por Ripley, permite quantificar os padrões de distribuição da árvore de forma mais precisa e clara que os índices estruturais (Ex: Morisita, Pielou) (PRETZSCH, 2008).

Considerando que tais índices simplesmente fornecem detalhes sobre a posição do vizinho mais próximo ou a variação da densidade em toda área, a função K produz informações sobre tendências de mudança na estrutura do povoamento ao redor das árvores individuais conforme a distância do ponto de vista aumenta (PRETZSCH, 2008).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 DESCRIÇÃO DA ESPÉCIE

*Maclura tinctoria* (L.) D.Don ex Steud. é uma espécie arbórea pertencente à família Moraceae. As moráceas compreendem a cerca de 70 gêneros e mais de 1500 espécies, distribuídas nas regiões tropicais e subtropicais do globo. O gênero *Maclura* Nutt. reúne cerca de seis espécies, nativas da América (MARCHIORI, 1997). *Maclura* tem como origem etimológica uma homenagem ao geólogo William Maclure (1793-1840). O termo *tinctoria* faz alusão ao corante amarelo exsudado pelo caule e pelos ramos (CARVALHO, 2003).

Conhecida popularmente como tajuva, taiúva, tatajuba, amora-do-mato, amoreira-branca, etc., é uma árvore dióica decidual de grande porte. Atinge até 30 m de altura e 50 a 100 cm de diâmetro no tronco, possui casca grisácea, delgada, lisa ou levemente rugosa com muitas lenticelas (LORENZI, 2008; REITZ, 1983).

O tronco é raramente reto (na mata densa), geralmente tortuoso e de forma irregular. O fuste é curto, com até 10 m de altura. Apresenta raízes tabulares bastante desenvolvidas, assim como espinhos abundantes na base e nas extremidades dos galhos (CARVALHO, 2003; REITZ, 1983).

Possui folhas simples, alternas, com dentes espinhosos e face abaxial de cor verde mais clara, de 8 a 15 cm de comprimento por 3 a 5 cm de largura. Apresentam ápice acuminado e base assimétrica, cordado ou arredondada (LORENZI, 2008; MARCHIORI, 1997). Tronco, casca e folhas quando cortados/feridos exsudam látex amarelo (CARVALHO, 2003).

As flores são unissexuais e melíferas, encontram-se em inflorescências axilares distintas. As masculinas agrupam-se em amentilhos e as femininas em capítulos, de cor verde ou levemente amarelada (REITZ, 1983). O fruto é composto, geralmente arredondado ou globoso e adocicado, é comestível e polposos, semelhante a uma amora, com muitas sementes, estas pequenas e achatadas. (CARVALHO, 2003; REITZ, 1983). As sementes são dispersas por água, pássaros, morcegos e outros mamíferos que se alimentam de frutas (CORDERO, J.; BOSHIER, D. H., 2003).

De cerne amarelado ou ocre, a madeira escurece mediante a exposição ao ar, adquirindo cor castanho-claro-amarelado ou mesmo castanho. Sua madeira é densa

(0.76-0.97 g/cm<sup>3</sup>), possui alta resistência ao ataque de organismos xilófagos e dela se extrai corantes e pigmentos (CARVALHO, 2003; REITZ, 1983;).

Ocorre naturalmente entre 26°N no México a 30°S no Brasil. No estado do Rio Grande do Sul a espécie participa da composição da Floresta Atlântica, da Floresta Estacional da Depressão Central e do Alto Uruguai. Não ocorre, ou é muito rara sua presença na Floresta Ombrófila Mista e no Escudo Rio Grandense (CARVALHO, 2003; MARCHIORI, 1997; REITZ, 1983).

É uma espécie heliofita e cresce razoavelmente rápido em plena luz, contudo tolera um pouco de sombra quando jovem. É uma espécie que não mostra grande regeneração natural, porém a mesma apresenta boa regeneração e rebrota após o corte (CORDERO, J.; BOSHIER, D. H., 2003).

É encontrada preferencialmente em solos úmidos de planícies aluviais e nos inícios das encostas. Mais comum em formações secundárias e florestas mais abertas, sendo rara no interior da mata primária alta e sombria (LORENZI, 2008). É considerada indicadora de solos de fertilidade química alta (CARVALHO, 2003).

Embora tenha ocorrência generalizada no Brasil, é considerada uma espécie ameaçada de extinção, principalmente no Sudeste, pelo fato da madeira ser amplamente utilizada e as sementes apresentarem uma baixa taxa de germinação (GOMES et al., 2003).

A madeira possui amplas habilidades de emprego. Usada em construções civis e navais, carpintaria, carrocerias, postes, palanques, esteios, vigas e dormentes. É muito apropriada para uso em parquetes e artigos de tornearia. Por sua flexibilidade recomenda-se ainda para cabos de ferramentas (MARCHIORI, 1997; REITZ, 1983).

Uma utilização comercial muito importante no passado era o corante amarelo extraído a partir de madeira, chamado maclurina ou morina, utilizado para tingir tecidos e peles (CORDERO, J.; BOSHIER, D. H., 2003).

É utilizada como planta medicinal, com propriedades cicatrizantes, antibacterianas e anti-inflamatórias, sendo usada no tratamento de hérnia e contra dores de dentes (CARVALHO, 2003). Lamounier et al. (2011) descrevem a atividade antioxidante e antibacteriana da espécie e comenta que seus extratos podem ser promissores para a formulação de suplementos antioxidantes naturais. Investigações fitoquímicas realizadas com ensaios de atividades biológicas de extratos de *Maclura tinctoria* demonstraram que as folhas exibem atividade antimalárica (BOURDY et al., 2004). A espécie é ainda utilizada como agente diurético, purgante e antirreumático.

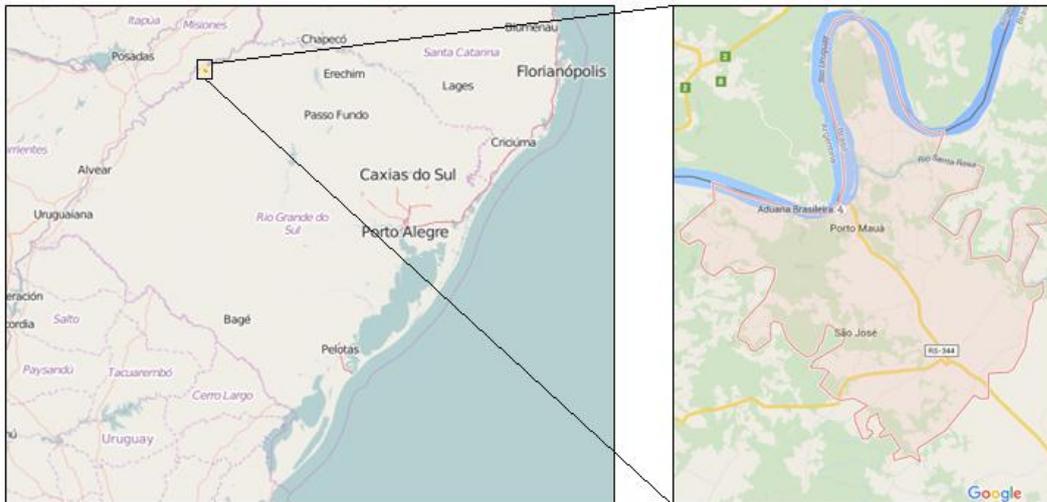
A espécie é adequada para plantações mistas em bons solos, como também pode ser usada no plantio de enriquecimento em florestas secundárias. Contudo, a intensidade da luz deve ser de pelo menos 60%. Ela também tem sido utilizada em reflorestamentos de mata ciliar, em regiões inundadas sazonalmente ou ao longo de reservatórios. Por vezes é utilizada como cerca viva por causa de sua facilidade de rebrota (CORDERO, J.; BOSHIER, D. H., 2003).

Possui uso paisagístico, na arborização de praças, parques e rodovias. É recomendada para plantio em sistemas agroflorestais como árvore de sombra para o gado, como também para reflorestamento para recuperação ambiental (CARVALHO, 2003). Battilani et al. (2006) sugerem o uso de *M. tinctoria* em modelos mistos de restauração ecológica, em sistemas agroflorestais e em plantios como poleiros naturais em áreas submetidas à regeneração natural.

### 3.2 DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA

O presente estudo foi desenvolvido no município de Porto Mauá, inserido na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). Localiza-se em uma latitude de 27°34'31" Sul e longitude 54°40'05" Oeste, com altitude de 142 metros. O município conta com as águas do rio Uruguai e tem fronteira fluvial com a Argentina. A cidade está inserida no Planalto Meridional, Formação Serra Geral, na região fisiográfica do Alto Uruguai, estendendo-se em pequena área da região das Missões (PORTO MAUÁ, 2014).

Figura 1 – Localização geográfica do município de Porto Mauá, RS.



Fonte: Adaptado de Google Maps e IBGE.

Segundo classificação climática de Köppen, o município enquadra-se no clima subtropical úmido, do tipo Cfa, com chuvas bem distribuídas durante o ano e temperatura média do mês mais quente superior a 19°C. A temperatura média anual é em torno de 20°C, oscilando entre temperaturas muito baixas no inverno (0-3°C) e temperaturas altas no verão (acima de 30°C). Em relação ao solo do município, são classificados em latossolos, profundos, bem drenados, ácidos e de baixa fertilidade, podendo apresentar toxidez por alumínio para as plantas (PORTO MAUÁ, 2014).

Está inserido na região de Floresta Estacional Decidual, também chamada de Floresta Estacional Caducifófila, ecossistema do bioma Mata Atlântica. A floresta ocorre na forma de disjunções distribuídas por diferentes quadrantes do país, com estrato superior predominantemente caducifólio, com mais de 50% dos indivíduos despidos de folhagem no período desfavorável (IBGE, 1992).

Este tipo de vegetação é caracterizado por duas estações climáticas bem demarcadas. Na zona tropical, apresenta uma estação chuvosa seguida de período seco. No Rio Grande do Sul, embora o clima seja ombrófilo, possui uma época muito fria (temperaturas médias mensais inferiores ou iguais a 15 °C) que determina o repouso fisiológico e a queda parcial da folhagem (IBGE, 1992).

### 3.2.1 Descrição das áreas de estudo

O estudo foi realizado em duas áreas distintas no interior do município de Porto Mauá (Figura 2), uma mais próxima à cidade e outra à margem do rio Uruguai na divisa com a Argentina, chamadas respectivamente como área plana e área de encosta.

Figura 2 – Localização das áreas plana e de encosta em Porto Mauá, RS.



Fonte: Adaptado de Google Earth (Data das imagens 13/11/2013)

As áreas possuem diferenças características (Figura 3), a área plana, como denominada, encontra-se em terreno plano em uma matriz agrícola, e é um fragmento de mata secundária com indícios de presença de animais domésticos (gado) em seu interior. A área de encosta localiza-se à margem do Rio Uruguai na divisa fluvial com a Argentina, estando sujeita à influência e alterações da vazão do rio, possui terreno inclinado e é uma mata secundária antropizada, com visíveis características da intervenção humana, dentre estas características foi observada uma trilha/picada já aberta em seu interior além de habitações em seu entorno.

Figura 3 – Visão geral das áreas plana e de encosta em Porto Mauá, RS.



Fonte: Adaptado de Google Earth (Data das imagens 13/11/2013).

Em ambas as áreas foi realizado um censo por caminhamento a fim de identificar indivíduos de *Maclura tinctoria* com diâmetro à altura do peito (DAP) superior à 2,0 cm.

### 3.3 OBTENÇÃO DOS DADOS

Foram identificadas e mensuradas 106 árvores de *Maclura tinctoria* (Figura 4). Cada árvore foi localizada dentro da floresta e obtida suas coordenadas geográficas.

Figura 4 – Indivíduo arbóreo de *Maclura tinctoria* em Porto Mauá, RS.



Fonte: A autora (2016).

Foram levantadas as seguintes variáveis dendrométricas:

a) Circunferência à altura do peito (CAP): medida no fuste com auxílio de fita métrica, à altura de 1,30 m do nível do solo (Figura 5).

b) Diâmetro à altura do peito (DAP): obtido com a transformação da variável CAP, onde:  $DAP = CAP/\pi$ ;

c) Altura total (H): medida utilizando o hipsômetro Vertex IV;

d) Raio de copa (Rcopa): a partir do maior raio visualizado, quatro raios de copa foram medidos em ângulos constantes de 90°, utilizando o hipsômetro Vertex IV e bússola; a fim de verificar a uniformidade da copa foi calculado o coeficiente de variação entre os quatro raios obtidos;

e) Diâmetro de copa (Dcopa): obtido com a média aritmética dos raios de copa mensurados, onde:  $Dcopa = 2 * Rcopa$ ;

f) Área basal por hectare (G/ha): obtida para cada árvore mensurada através da aplicação do método de Bitterlich. Em cada ponto de localização da árvore foi

realizada uma amostra de contagem angular (ACA), conforme proposto por Bitterlich. Foi utilizado um fator de área basal (FAB) igual a um. A densidade de Bitterlich foi obtida por meio da fórmula  $G = FAB.n$ , onde  $n$  é o número de árvores inclusas na ACA.

Comumente levantada em outros trabalhos de pesquisa, a variável altura de inserção de copa não foi mensurada no presente estudo.

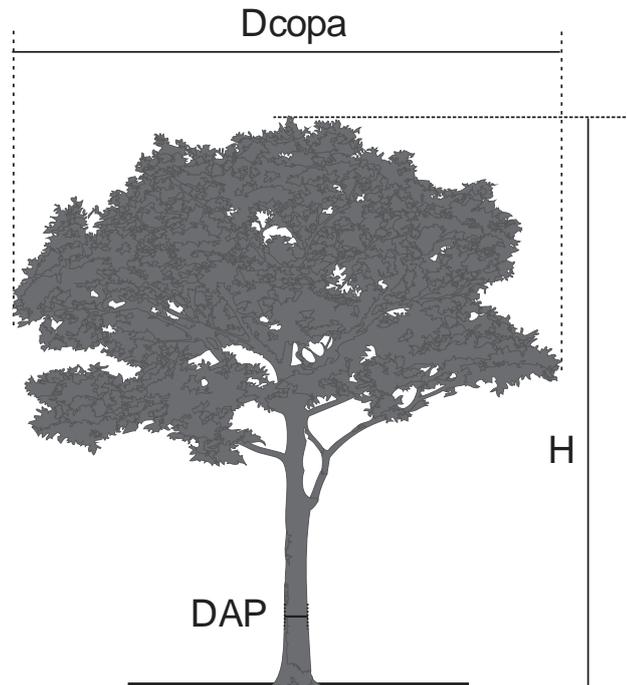
Em conjunto com as variáveis dendrométricas, os indivíduos de *M. tinctoria* foram caracterizados e classificados em indivíduos com um único fuste e indivíduos com dois ou mais fustes, denominados multitrancos, com o intuito de analisar a tendência destes indivíduos e verificar a possibilidade de manejo destas árvores pelo sistema de talhadia.

Para que um sistema de talhadia possa ser adotado, se faz necessária a disponibilidade de espécies arbóreas com capacidade de rebrota e que o objetivo principal seja a produção de lenha (LAMPRECHT, 1990). A diferença de tendência entre os indivíduos multitrancos e os demais foi verificada através de análise de covariância.

### 3.4 FORMA DA ÁRVORE E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL

Com objetivo de descrever as relações interdimensionais das árvores os índices grau de esbeltez, índice de abrangência e índice de saliência foram calculados. Estes índices foram derivados das variáveis dendrométricas obtidas no levantamento à campo (Figura 5) e são descritos abaixo.

Figura 5 – Modelo esquemático de medição de variáveis dendrométricas da árvore.



Onde: Dcopa: diâmetro de copa; DAP: diâmetro à altura do peito; H: altura.

Fonte: A autora (2016).

Grau de esbeltez (GE): índice obtido pela relação entre altura total (H) e diâmetro à altura do peito (DAP).

$$GE = H/DAP$$

Índice de saliência (IS): obtido pela relação diâmetro de copa (Dcopa) e diâmetro à altura do peito (DAP).

$$IS = Dcopa/DAP$$

Índice de abrangência (IA): obtido pela relação diâmetro de copa (Dcopa) e altura total (H) do indivíduo.

$$IA = Dcopa/H$$

A fim de caracterizar a regularidade do diâmetro de copa das árvores, foi calculado o coeficiente de variação dos raios de copa de cada indivíduo.

O padrão de distribuição espacial dos indivíduos de *M. tinctoria* nas duas áreas amostradas foi analisado utilizando a função K de Ripley, também conhecida como

análise reduzida de segunda ordem, com o uso do *software* R (R CORE TEAM, 2014). Para a aplicação da função as coordenadas de cada árvore, obtidas com o GPS, foram consideradas como um evento dentro de cada área amostral.

A função K apresenta o número de árvores para um determinado raio, a obtenção de valores altos nesta função indica agrupamento, enquanto valores baixos indicam regularidade (PRETZSCH, 2008). Esta é uma ferramenta apropriada para a descrição do padrão espacial, pois leva em consideração a grande abrangência de escalas (CRESSIE, 1991).

### 3.5 AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO

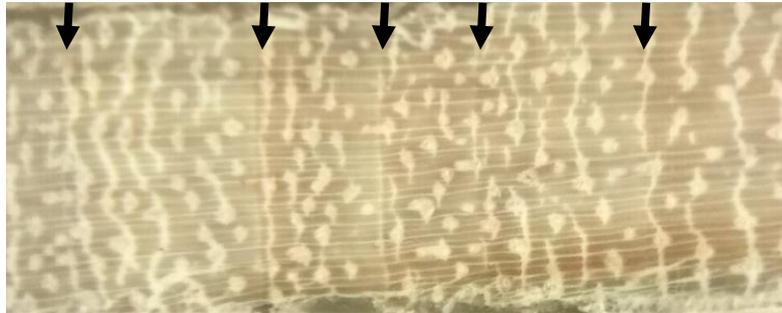
Os dados de crescimento periódico anual em diâmetro e em área basal foram obtidos pela análise de anéis de crescimento visualizados em rolos de incremento, estes extraídos radialmente do tronco à altura de 1,30 metros do nível do solo, utilizando o Trado de Pressler.

Foram retirados dois rolos de incremento, perpendiculares entre si, por indivíduo amostrado. Para os indivíduos multitruncos adotou-se o mesmo procedimento de tradagem, considerando cada fuste componente da árvore como um indivíduo único. Quando não foi possível a retirada perpendicular dos rolos, foi realizada uma tradagem única.

Posteriormente os rolos de incremento foram acondicionados e fixados com cola branca em suportes de madeira identificados. Procedeu-se a secagem natural das amostras, e após estas foram lixadas gradualmente com lixas de grãos 60 a 220, a fim de possibilitar a visualização dos anéis de crescimento das árvores.

O incremento radial dos últimos dez anos foi visualizado e marcado no sentido casca-medula (Figura 6), em mesa com deslocamento horizontal acoplada a um microscópio estereoscópico. O primeiro anel foi datado como correspondente ao ano de 2014, ou seja, ele iniciou seu crescimento em 2013 e cessou o seu desenvolvimento em 2014. Como as árvores foram tradadas em janeiro de 2015, supõe-se que o crescimento iniciado em 2014 não havia concluído na época de coleta, assim, o incremento deste ano não foi utilizado para a estimativa do crescimento periódico.

Figura 6 – Anéis de crescimento visualizados nos rolos de incremento de *Maclura tinctoria*.



Fonte: A autora (2016).

Após as marcações, digitalizou-se as amostras em resolução de 1200 dpi e procedeu-se a medição com o auxílio do software Image Pro-Plus (IPWin32). A partir do incremento radial, reconstruiu-se o diâmetro inicial de dez anos anteriores para calcular o incremento periódico em diâmetro e em área basal. O incremento periódico em área basal (IPg), para cada árvore, é expresso conforme a equação que se segue:

$$IPg = g_i - g_{i-n}$$

Onde: g= área basal; i=idade de referência; n= período de tempo.

O incremento periódico anual em área basal (IPAg), é calculado pela fórmula:

$$IPAg = IPg/n$$

Onde: n= período de tempo.

Devido à dificuldade de recolher o material do trado durante a retirada da bagueta, a espessura de casca não foi calculada

### 3.6 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON

O crescimento periódico anual em diâmetro e em área basal foi relacionado com todas as variáveis dendrométricas (e suas transformações), e com as variáveis morfométricas, com o objetivo de estudar quais destas influenciam em maior ou menor grau sobre a taxa do incremento.

Para auxiliar a construção dos modelos de incremento, juntamente com a análise de correlação, foi realizada uma análise exploratória dos dados analisando gráficos de dispersão entre IPAg e as variáveis obtidas.

O grau de relação foi analisado pelo coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ). Este coeficiente é um índice adimensional com valores situados entre -1.0 e 1.0, que reflete a intensidade de uma relação linear entre duas variáveis quantitativas (BUSSAB; MORETTIN, 1995).

### 3.7 MODELAGEM DO IPAg, RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA E DIÂMETRO DE COPA

A modelagem do IPAg foi realizada pelo procedimento *stepwise* com as variáveis dendrométricas e morfométricas mais correlacionadas e suas transformações ( $x^2$ ,  $x^3$ ,  $1/x$ ,  $1/x^2$ ,  $1/x^3$ ,  $\ln x$ ,  $\sqrt{x}$ ), utilizando o *software* SAS.

Utilizando o mesmo procedimento, posteriormente ajustou-se equação para a relação hipsométrica da espécie, assim como para a estimativa do diâmetro de copa dos indivíduos. No ajuste de modelo para a relação hipsométrica as variáveis dependentes utilizadas foram o DAP e suas transformações. Enquanto na modelagem do diâmetro de copa, da mesma forma que na modelagem do IPAg, utilizou-se as variáveis dendrométricas (e suas transformações) e morfométricas mais correlacionadas.

No método *stepwise*, é incluída uma variável dependente por vez, iniciando com as de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) parcial mais alto e validando-se a significância de cada novo modelo formado, bem como de cada uma das variáveis (SILVEIRA et al., 2015).

A avaliação do ajuste e precisão dos modelos foi baseada no coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj.}$ ), no erro padrão da estimativa em percentagem ( $Syx\%$ ) e na distribuição gráfica da dispersão dos resíduos.

Os resíduos foram avaliados com os testes de White para a homogeneidade, teste Shapiro-Wilk para a normalidade e teste de Durbin-Watson para a independência.

### 3.8 ESTIMATIVAS DE NÚMERO DE ÁRVORES POR HECTARE (N/ha) E ESPAÇAMENTO EM FUNÇÃO DA ÁREA COPA DE *Maclura tinctoria*.

Após a definição do modelo mais representativo para o diâmetro de copa, foram traçadas linhas tangentes aos limites superior e inferior da relação diâmetro de copa x diâmetro à altura do peito. Tais retas, refletem o maior e menor espaço ocupado pela árvore e indicam igualmente as maiores e menores copas encontradas para a espécie.

A partir da equação das retas traçadas foi possível calcular as áreas de copa mínima e máxima ( $A_c = D^2/4$ ). Obtida a área de copa, calculou-se o número de árvores por hectare (N/ha) dividindo a área de 0.8 ha pela área de copa. Utilizou-se 0.8 ha para o cálculo pois segundo Nutto (2001) a cobertura de copa abrange somente 80% da área total do terreno.

Obtido o N/ha para as áreas de copa mínima e máxima se calculou o espaçamento para estas duas situações com a fórmula  $E = \sqrt{10000/(N/ha)}$ . Utilizando esta metodologia é possível obter estimativas seguras de número de árvores por área e indicações de espaçamento para implantação de *Maclura tinctoria*.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 CARACTERÍSTICAS DA POPULAÇÃO**

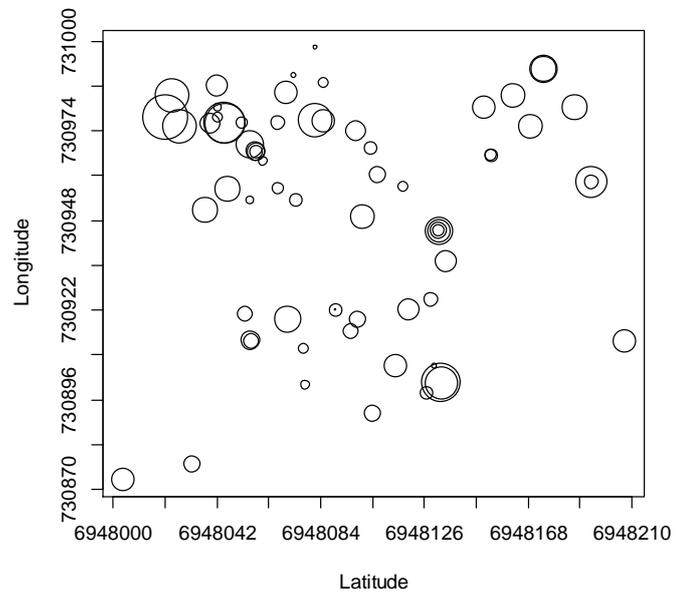
Na área plana foram encontradas 74 árvores de *M. tinctoria*, sendo 23 destas oriundas de indivíduos multitrancos, representando 31,1 % da população. Na área de encosta foram encontradas 32 árvores da espécie, sendo nove oriundas de indivíduos multitrancos, representando 28,1% da população do local. Obtendo assim, para o total uma média de 30,2% de indivíduos que possuíam mais de um fuste, estes possivelmente advindos de brotações, demonstrando que a espécie possui potencial para estudos que visem avaliar seu manejo por meio da talhadia.

#### **4.1.1 Distribuição espacial**

A distribuição espacial por coordenadas UTM das árvores mais próximas por área amostrada pode ser visualizada nas Figuras 7 e 8. Nota-se que na área plana as árvores encontram-se dispersas por todo o local, enquanto na área de encosta há maior concentração em determinada porção da área, devido à mesma se encontrar inserida em área antropizada.

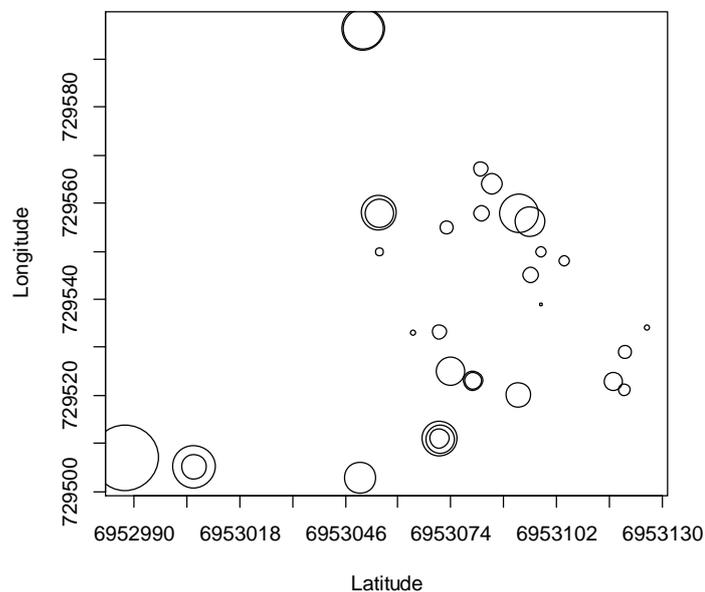
A sobreposição de pontos nos gráficos indica a localização dos indivíduos considerados multitrancos, devido a coleta de um único ponto de GPS para os mesmos.

Figura 7 – Distribuição espacial dos indivíduos de *Maclura tinctoria* na área plana em Porto Mauá, RS.



Fonte: A autora (2016).

Figura 8 – Distribuição espacial dos indivíduos de *Maclura tinctoria* na área de encosta em Porto Mauá, RS.



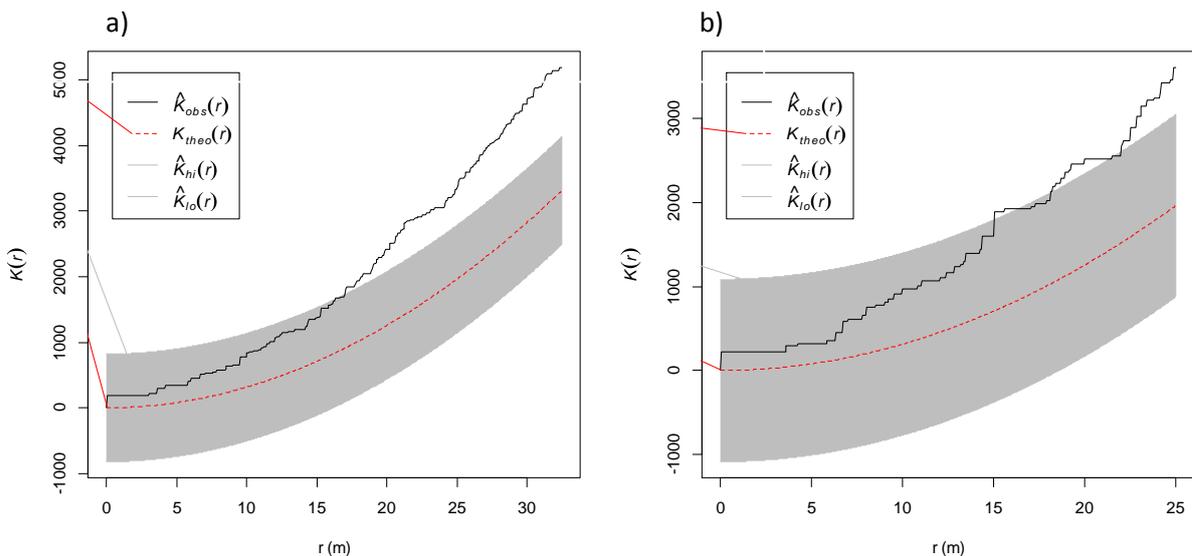
Fonte: A autora (2016).

O padrão de distribuição espacial de ambas as áreas foi analisado pela função K de Ripley (Figura 9), utilizando o *software* R, que através de simulações (n=99) construiu intervalos de confiança. Os valores observados são comparados com os valores estimados pelas simulações. Se os valores observados permanecerem acima

do limite superior do intervalo de confiança, os mesmos apresentam um padrão de distribuição agrupado. Se os valores se encontram inseridos dentro do intervalo de confiança os dados apresentam distribuição aleatória.

O padrão de distribuição espacial variou em diferentes escalas. Na área plana as árvores apresentaram comportamento aleatório até um raio de aproximadamente 16 metros, acima deste valor elas apresentaram comportamento agrupado. Este resultado indica que a partir de 16 m de um indivíduo de *Maclura tinctoria* a probabilidade de encontrar outro indivíduo da mesma espécie é alta. Logo, para se manejar esta espécie deve-se considerar seu nível de agrupamento.

Figura 9 – Função K de Ripley para *Maclura tinctoria* nas áreas plana e de encosta em Porto Mauá, RS.



Onde: a) área plana; b) área de encosta;  $K_{obs}$ : valor observado nas áreas;  $K_{theo}$ : valor estimado pelas simulações;  $K_{hi}$ : valor superior do intervalo de confiança;  $K_{lo}$ : valor inferior do intervalo de confiança. Fonte: A autora. (2016).

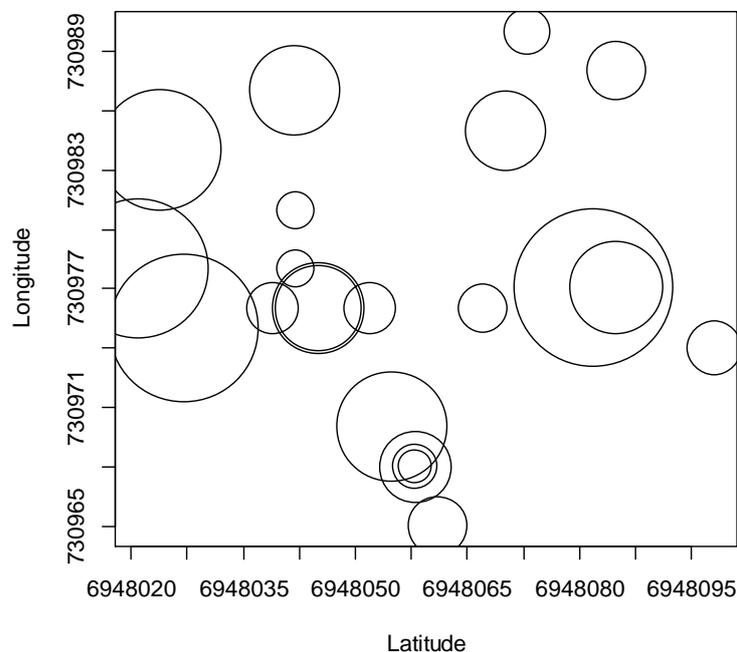
Na área de encosta, o comportamento aleatório se deu até aproximadamente 15 metros, acima deste o comportamento apresentado pelos indivíduos variou entre agrupado e aleatório, para então somente acima de 22 metros ser considerado agrupado. Tal variação de comportamento, pode se justificar devido à intervenção e ocupação humana no entorno da área estudada. Da mesma forma que o resultado encontrado na área plana, deve-se considerar, pelo menos uma distância de 15 metros para o manejo da espécie.

A dispersão de propágulos é outro fator que pode influenciar na distribuição espacial dos indivíduos. Em casos de dispersão zoocórica, como é o caso da espécie em estudo, a distribuição pode assumir diferentes arranjos, dependendo do dispersor. Na dispersão por aves, há tendência à formação gregária em torno dos locais onde os animais permanecem (ninhos, poleiros, etc.) (URBANETZ et al, 2003). Logo, a distribuição aleatória até determinado raio encontrada para *M. tinctoria* pode estar relacionada à dispersão a maiores distâncias feita por estes animais.

#### 4.1.2 Sub-amostragem de indivíduos agrupados

Realizou-se uma subamostragem na área plana, onde foi verificado agrupamento das árvores de *Maclura tinctoria* a fim de investigar as características dos indivíduos sob alta densidade. Analisou-se especificamente uma faixa de 25x80 m (0,2 ha) onde se encontravam 22 árvores da espécie (Figura 10).

Figura 10 – Distribuição espacial dos indivíduos de *Maclura tinctoria* em função do seu diâmetro de copa em subamostra da área plana em Porto Mauá, RS.



Fonte: A autora (2016).

Desconsiderando a sobreposição de copas, visto que foi coletado um mesmo ponto de GPS para árvores multitruncos, nesta faixa específica as copas das árvores de *Maclura tinctoria* ocupam 62,1% da área, ou seja, 1240,97 m<sup>2</sup> dos 2000 m<sup>2</sup> do local.

Também deve-se considerar que a medida de copa aqui abordada é uma estimativa advinda de raios médios, que não reflete exatamente a posição real das copas.

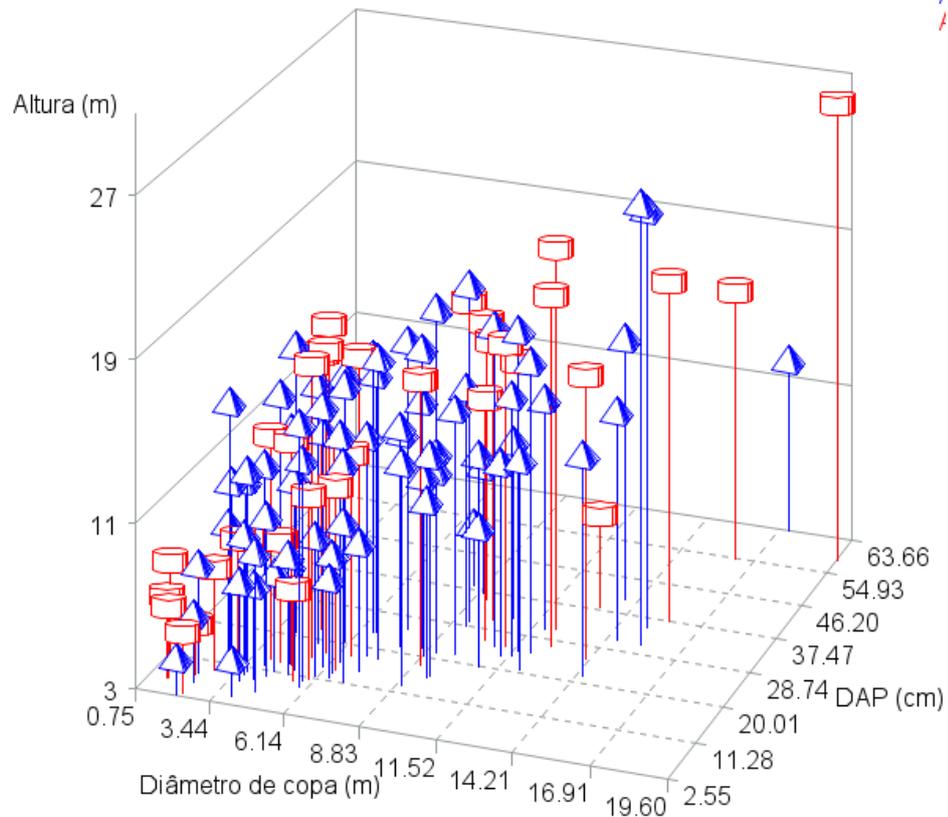
Os valores médios encontrados para as variáveis dendrométricas e morfométricas desta área coincidem com os encontrados para a população total avaliada no presente trabalho (DAP= 19,2 cm, H= 12,8 m, Dcopa= 7,4 m, IPAd= 0,58 cm/ano, GE= 81,2, IS= 42,7, IA=0,60), demonstrando que as árvores possuem desenvolvimento similar às demais, mesmo em áreas sob alta densidade.

É possível observar através desta amostragem localizada a capacidade da espécie se adaptar e sobreviver em áreas densas. Característica importante na implantação de povoamentos puros da espécie, onde inicialmente há alta densidade de indivíduos por hectare.

#### 4.2 CARACTERÍSTICAS DOS INDIVÍDUOS DE *Maclura tinctoria*

A relação entre o diâmetro de copa, o DAP e a altura da população nas duas áreas analisadas pode ser visualizada na Figura 11. Nota-se na figura uma grande dispersão de valores para estas variáveis dimensionais, essa variação pode ser entendida como oriunda da variação natural encontrada na amostragem de dados.

Figura 11 – Relação entre diâmetro à altura do peito, diâmetro de copa e altura total de *Maclura tinctoria*, Porto Mauá, RS.



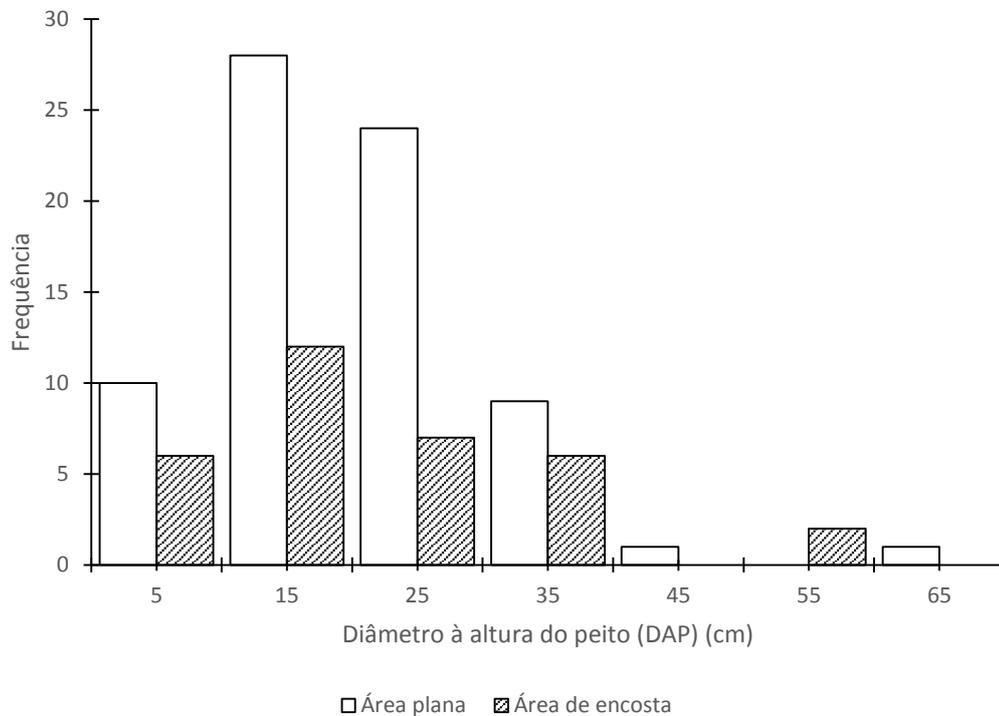
Onde: Triângulo: Área plana; Cilindro: Área de encosta; DAP: diâmetro à altura do peito.  
Fonte: A autora (2016).

O diâmetro de copa é aumentado com o DAP e as alturas dos indivíduos, sendo a maior copa em diâmetro referente à árvore com maior altura e um dos maiores DAP. Da mesma forma, a altura aumenta conforme se elevam os valores de DAP. Nota-se no gráfico que indivíduos de até 20 cm de DAP possuem diâmetro de copa de até 11 m, e estes não ultrapassam os 20 metros de altura.

#### 4.2.1 Diâmetro à altura do peito (DAP)

Houve grande amplitude de variação do DAP. O valor médio encontrado foi de  $20,2 \pm 11,1$  cm, com DAP mínimo e máximo de 2,55 e 63,66 cm, respectivamente. O coeficiente de variação obtido foi de 54,97%. A frequência de distribuição dos diâmetros por classe de árvores foi assimétrica em ambas as áreas (Figura 12).

Figura 12 – Histograma de frequência de diâmetro à altura do peito de *Maclura tinctoria* por áreas analisadas em Porto Mauá, RS.



Fonte: A autora (2016).

A análise da distribuição dos indivíduos entre classes de tamanho se faz útil na compreensão das flutuações e avaliação da estabilidade das populações e comunidades (MARTINS, 2012). Além de poder auxiliar como guia de corte e na sustentabilidade ambiental do manejo (SOUZA, SOARES, 2013). Uma comunidade ou população é considerada estável se tal distribuição se enquadra no modelo exponencial negativo (“J” invertido) (MARTINS, 2012). Interrupções nos histogramas podem indicar possíveis perturbações passadas da causa natural ou antrópica, como desmatamentos, herbivoria e exploração madeireira (FELFILI; SILVA JÚNIOR, 1988).

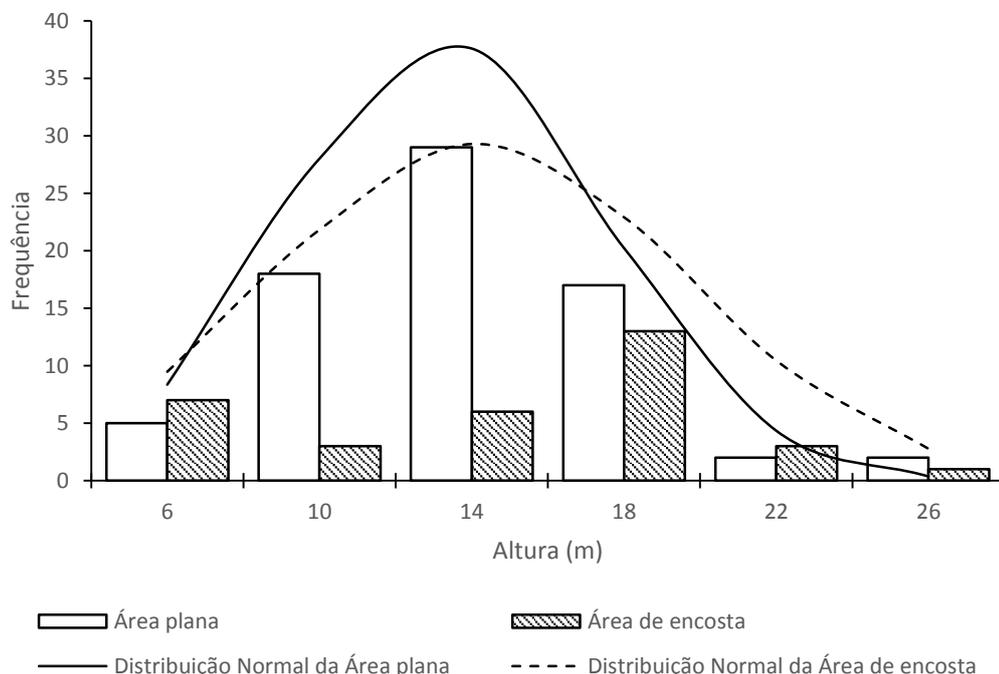
Observou-se, no entanto, que a oscilação no número de indivíduos de *M. tinctoria* fez com que o padrão “J invertido” não fosse perfeitamente aparente nos histogramas, indicando algum grau de distúrbio em ambas as áreas, possivelmente devido à intervenção humana no local. Este padrão de distribuição onde há maior frequência de indivíduos em dimensões intermediárias pode também indicar baixo estabelecimento de novos indivíduos, e que a espécie necessita de clareiras para a regeneração (SOUZA et al., 2012).

A ausência de árvores da classe de 45 cm na área de encosta e da classe de 55 cm na área plana pode ser justificada devido à exploração da floresta pela população local, visto que ambas as áreas analisadas possuem histórico de intervenções antrópicas. Adicionalmente a distribuição de frequências pode variar de acordo com a idade das formações secundárias, desconhecidas neste estudo.

#### 4.2.2 Altura

O valor médio para altura foi de  $13,6 \pm 4,5$  m, com alturas mínima e máxima de 5.0 e 26.3 metros, respectivamente. O coeficiente de variação desta variável foi de 32.8%. Para as áreas plana e de encosta houve diferença de comportamento na frequência das alturas (Figura 13).

Figura 13 – Histograma de altura de *Maclura tinctoria* nas diferentes áreas analisadas, Porto Mauá, RS.



Fonte: A autora (2016).

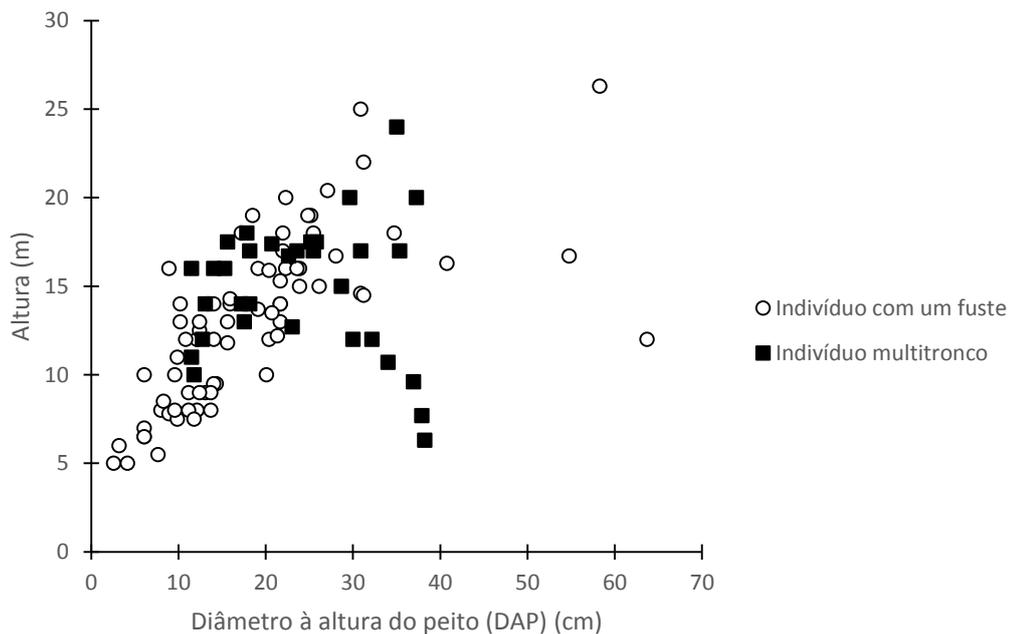
Na área plana a altura mostrou distribuição normal entre as classes, entretanto, na área de encosta a distribuição foi assimétrica, apresentando proporcionalmente maior número de indivíduos na classe de 6 metros. Isto pode acontecer devido à

característica da área de encosta, que possui terreno inclinado e trilhas já abertas no local, proporcionando maiores espaços para entrada de luz, permitindo que alguns indivíduos obtenham luminosidade suficiente sem precisar investir fortemente no crescimento em altura para atingir o dossel.

Tendo em vista que esta é uma variável de difícil obtenção à campo, buscou-se ajustar um modelo para estimar a altura das mesmas em função de uma variável de fácil obtenção, como o DAP.

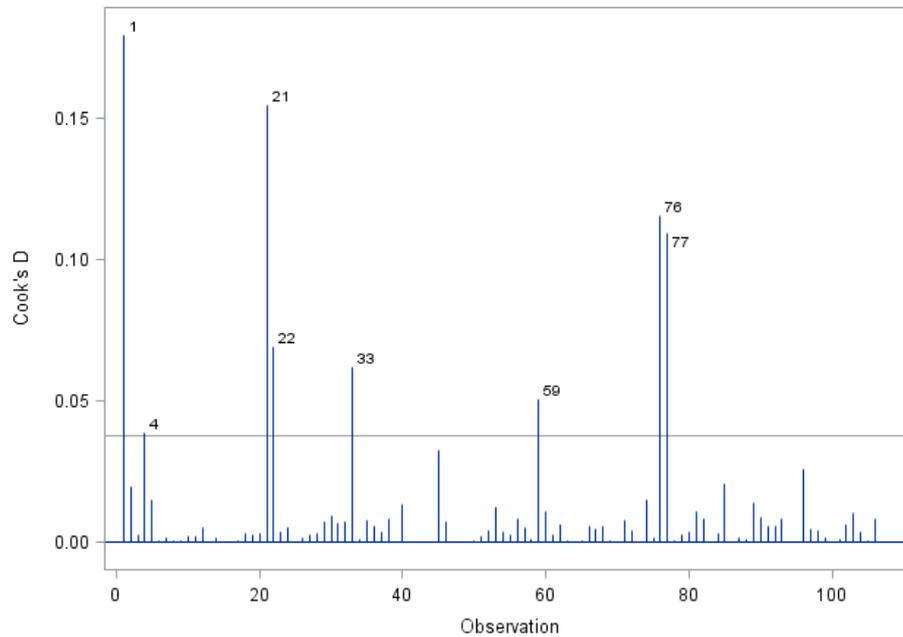
Na avaliação gráfica dos dados notou-se comportamento atípico de alguns indivíduos em relação aos demais (Figura 14). Então, aplicou-se o teste D de Cook para identificar os valores considerados *outliers*. Tais indivíduos foram excluídos do banco de dados da modelagem (Figura 15). Resultando no total de 98 indivíduos para modelar a relação hipsométrica.

Figura 14 – Comportamento da altura das árvores em relação ao diâmetro à altura do peito de *Maclura tinctoria* em Porto Mauá, RS.



Fonte: A autora (2016).

Figura 15 – Identificação de *outliers* da variável altura total de *Maclura tinctoria* utilizando teste D de Cook no *software* SAS.



Fonte: A autora (2016).

Os dados mensurados de altura e diâmetro permitiram obter uma equação com o uso do método *stepwise* com ajuste satisfatório ( $R^2_{aj} = 0,60$ ,  $S_{yx} = 2,58$  e  $CV\% = 19,25$ ).

$$H = -2,4131 + 5,694287 \cdot \ln DAP$$

A equação desenvolvida coincidiu com o modelo de Henricksen, já conhecido na literatura ( $Y = b_0 + b_1 \cdot \ln x$ ) (HENRICKSEN, 1950). Seus parâmetros estatísticos se encontram na Tabela 1.

O intercepto não foi significativo a 5%. Contudo, manteve-se o mesmo na equação visto que sua retirada do modelo não trouxe ganho na performance preditiva. A equação demonstrou homogeneidade da variância ( $W = 0,75$ ,  $p = 0,6882$ ), normalidade ( $SW = 0,97$ ,  $p = 0,2360$ ) e independência dos resíduos ( $DW = 1,79$ ,  $p = 0,8635$ ).

Tabela 1 – Análise de variância e parâmetros estatísticos da relação hipsométrica para *Maclura tinctoria*.

Variável	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Modelo	1	926,65739	926,65739	138,75	<.0001
Erro	96	641,14149	6,67856		
Total	97	1567,79888			

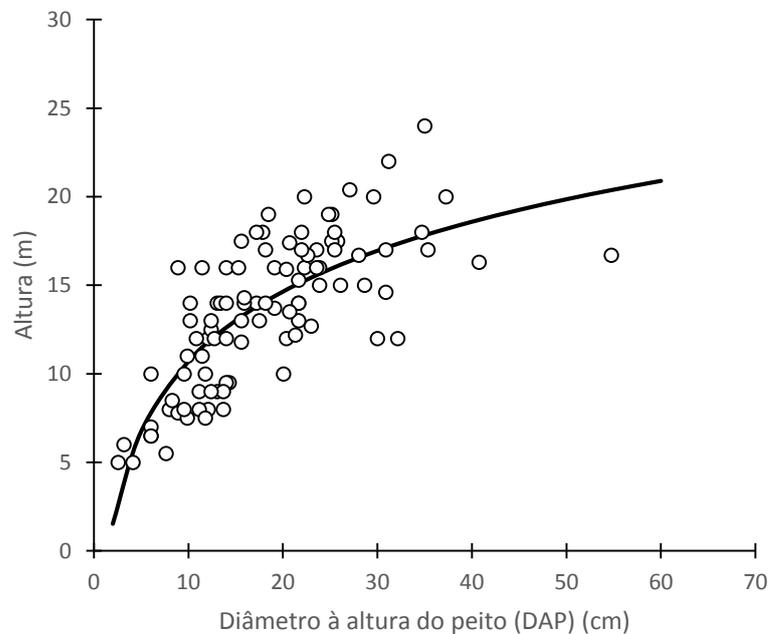
Variável	GL	Parâmetro estimado	Erro padrão	Valor de t	Pr >  t
Intercepto	1	-2,41131	1,37026	-1,76	0,0816
LnDAP	1	5,69429	0,48342	11,78	<.0001

Onde: GL: graus de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; F: valor de F; Pr: probabilidade.

Fonte: A autora (2016).

O comportamento da equação ajustada em relação aos dados observados de *M. tinctoria* é similar a uma função logarítmica, onde a altura tende a estabilizar conforme aumenta o diâmetro (Figura 16). A equação estimada conseguiu explicar 60% da variação dos dados.

Figura 16 – Ajuste de relação hipsométrica de *Maclura tinctoria*, Porto Mauá, RS.



Fonte: A autora (2016).

Roman et al. (2009) também encontraram o modelo de Henricksen como equação para estimativa de altura total de *Cordia trichotoma* no RS.

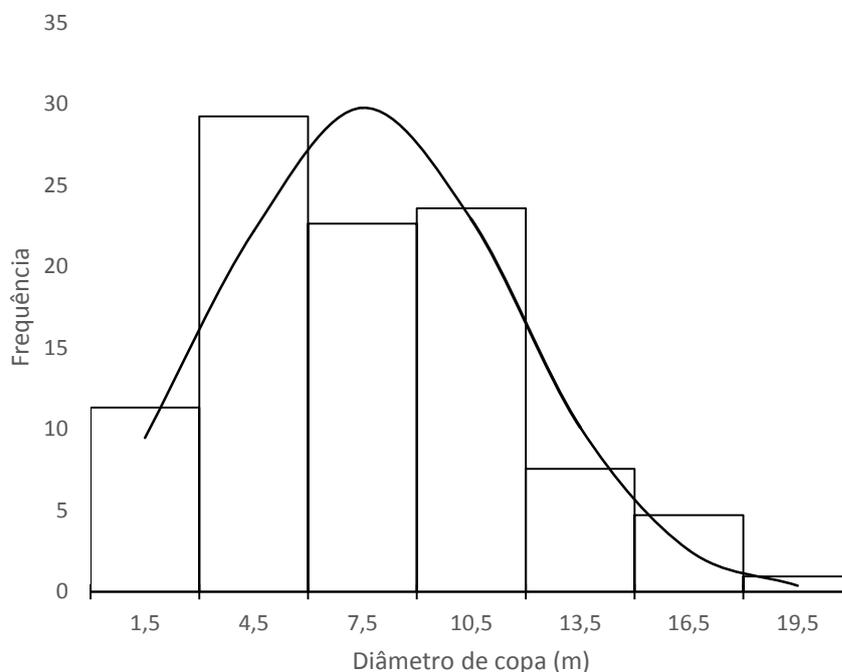
É comum o valor do coeficiente de variação não ser superior a 80% em relações hipsométricas, uma vez que a correlação entre altura e diâmetro não é tão forte quanto a correlação entre altura e volume (SCOLFORO; FIGUEIREDO FILHO, 1998).

#### 4.2.3 Diâmetro de copa

A partir dos quatro raios de copa mensurados para cada árvore foi possível calcular o raio de copa médio e estimar o diâmetro de copa dos indivíduos de *M. tinctoria* analisados.

O valor médio de diâmetro de copa foi  $7,6 \pm 3,9$  m, com mínimo de 0,75, máximo de 19,6 m, e coeficiente de variação de 51,7%, indicando o quão plástica a espécie pode ser em relação à sua copa. A distribuição dos dados de diâmetro de copa segue a distribuição normal (Figura 17).

Figura 17 – Histograma do diâmetro de copa para *Maclura tinctoria*, Porto Mauá, RS.



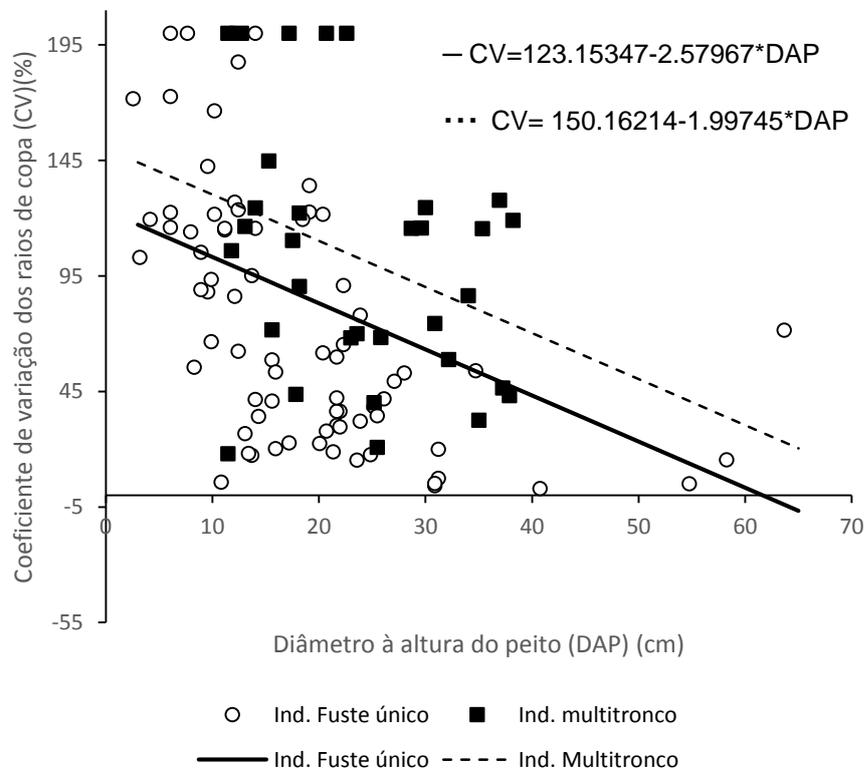
Fonte: A autora (2016).

#### 4.2.3.1 Irregularidade da copa

O coeficiente de variação dentre os quatro raios de copa (CVRcopa%) de cada árvore variou de 2,9% a 200%, com média de 83%, demonstrando a alta variação entre os raios de copa medidos e comprovando a irregularidade e plasticidade da copa de *M. tinctoria*. O CVRcopa% apresentou correlação significativa negativa com o Dcopa, DAP e altura (-0,68, -0,40 e -0,38), indicando que a variação da copa tende a diminuir conforme aumenta o valor destas variáveis.

Através de análise de covariância foi possível identificar a tendência dos indivíduos multitrancos. O valor de F resultou em 0,28 e probabilidade igual a 0,60, não havendo diferença de inclinação para os indivíduos multitrancos. Testando a diferença de nível somente, a análise de covariância foi significativa ( $F=14,5$ ,  $p=0,0002$ ) (Figura 18).

Figura 18 – Análise de covariância para regularidade de copa de indivíduos multitrancos de *Maclura tinctoria* em Porto Mauá, RS.



Fonte: A autora (2016).

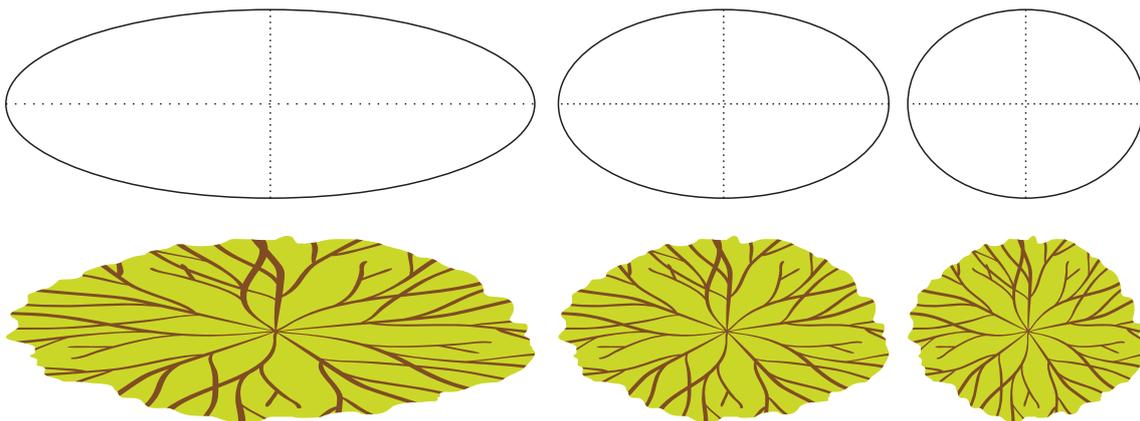
Em relação a regularidade do diâmetro de copa as árvores multitrancos possuem mesma inclinação das árvores com somente um fuste. Porém, sua tendência

difere em nível, possuindo os indivíduos multitrancos no geral maior variação nos raios de copa. Fato este que pode ser explicado por sua competição com os demais fustes oriundos do mesmo sistema radicular, que limitam seu crescimento em determinado raio, tornando sua copa mais irregular.

Os maiores valores de variação (CV= 200%) são de indivíduos jovens, que não alcançaram o estrato superior do dossel, com diâmetro de copa de até 5 metros e DAP entre 6 – 23 cm.

Árvores com diâmetro de copa superior a 10 metros possuem variação inferior a 75%, apresentando raios de copa mais regulares. O comportamento excêntrico da copa pode ser visualizado esquematicamente na Figura 19.

Figura 19 – Modelo esquemático de irregularidade de copa (Coeficiente de variação= 200%, 75% e 25%) de *Maclura tinctoria*.

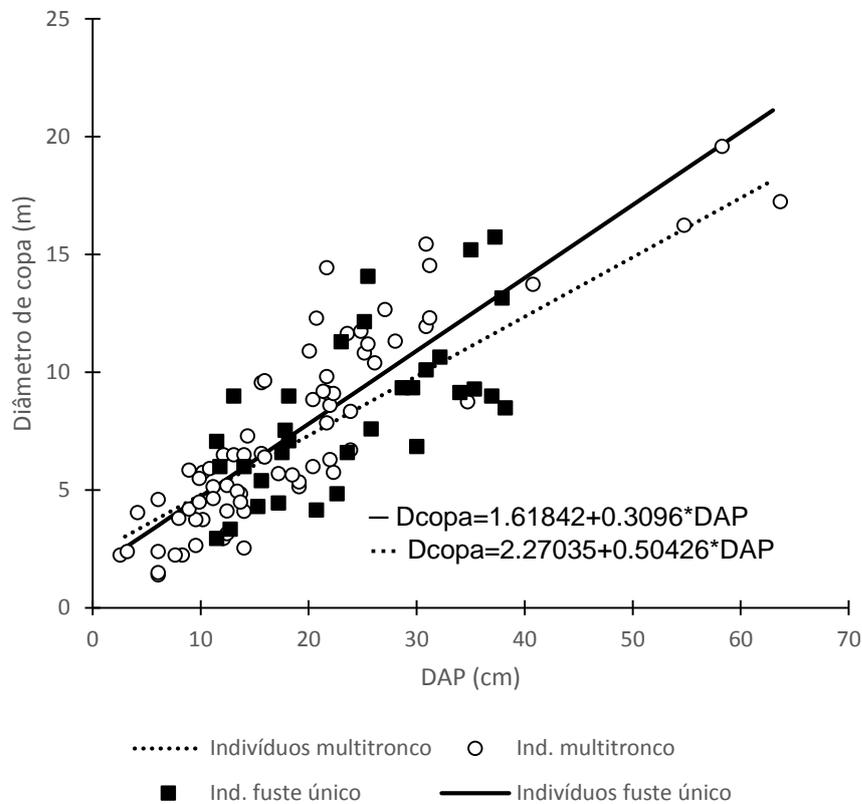


Fonte: A autora (2016).

#### 4.2.3.2 Modelagem de diâmetro de copa

O diâmetro de copa possui relação ascendente com o DAP (Figura 20). Na análise de covariância para diferente inclinação o valor de F foi igual a 0.29 com  $p=0.59$ , não sendo significativo, da mesma forma a análise para diferença de nível não foi significativa ( $F=1.40$ ,  $p=0.24$ ). Portanto, não há diferença de nível e inclinação na tendência dos indivíduos multitrancos em relação aos indivíduos com um fuste único, e pode-se ajustar uma equação única para o conjunto de dados.

Figura 20 – Análise de covariância do diâmetro de copa de indivíduos de *Maclura tinctoria*, Porto Mauá, RS.



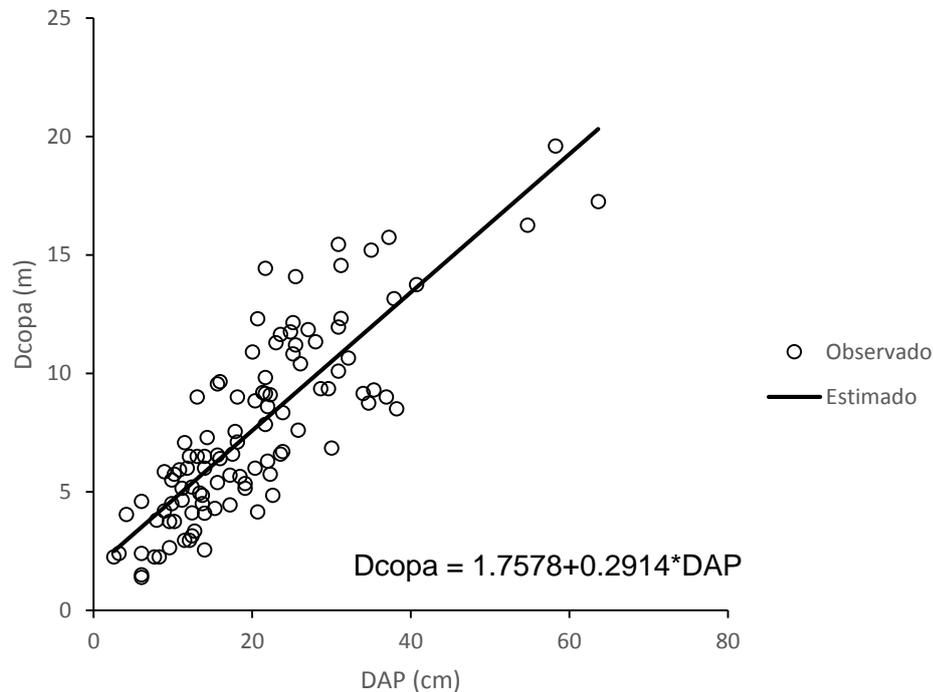
Fonte: A autora (2016).

Procedeu-se o ajuste de equação preditora de diâmetro de copa no programa SAS, utilizando o procedimento *stepwise*. A equação ajustada apresentou como variável independente a raiz quadrada do diâmetro à altura do peito, no entanto a relação entre o diâmetro de copa e o DAP propriamente dito apresentou alta correlação e estatísticas praticamente idênticas. Portanto, devido sua simplicidade e praticidade optou-se pela seguinte equação:

$$Dcopa = 1.7578 + 0.2914 * DAP$$

A equação estimada gerou boas estatísticas, com  $R^2_{aj.} = 0,69$ , erro padrão da estimativa de 2,16 e coeficiente de variação em percentagem de 28.23% (Figura 21).

Figura 21– Ajuste de equação para diâmetro de copa em função do diâmetro à altura do peito para *Maclura tinctoria*, Porto Mauá, RS.



Fonte: A autora (2016).

A análise de variância e o resumo estatístico dos parâmetros estimados gerados pela equação são encontrados na Tabela 2. Na tabela é possível verificar que os valores de F e de T dos parâmetros foram altamente significativos.

Tabela 2 – Análise de variância e resumo estatístico dos parâmetros estimados do diâmetro de copa em função da raiz quadrada do diâmetro à altura do peito de *Maclura tinctoria* ( $Dcopa = 1.7578 + 0.2914 * DAP$ ).

Variável	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Modelo	1	1088.63953	1088.63953	233.11	<.0001
Erro	103	481.02629	4.67016		
Total	104	1569.66582			
Variável	GL	Parâmetro estimado	Erro padrão	Valor de t	Pr >  t
Intercepto	1	1.7578	0.4401	3.99	0.0001
DAP	1	0.2914	0.0191	15.27	<.0001

Onde: GL: graus de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; F: valor de F; Pr: probabilidade.

Fonte: A autora (2016).

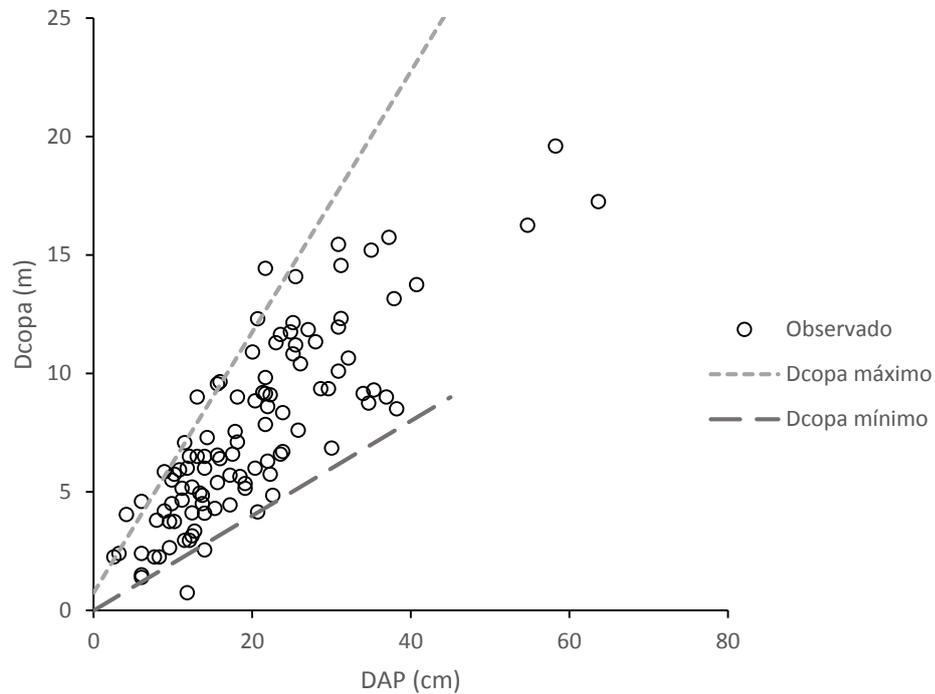
A dispersão dos resíduos em função da variável dependente mostrou distribuição homogênea. Na análise dos resíduos a equação não demonstrou heterogeneidade da variância pelo teste de White ( $W=11.35$ ,  $p.=0.003$ ), normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk ( $SW=0.97$ ,  $p.=0.20$ ) e independência dos resíduos pelo teste de Durbin-Watson ( $DW=1.84$ ,  $p.=0.198$ ) se considerado o nível de 1% de significância.

#### *4.2.3.3 Estimativas de número de árvores por hectare e espaçamento em função da copa de *Maclura tinctoria*.*

Normalmente a obtenção de medidas de espaçamento entre árvores é realizada de forma empírica ou por plantios experimentais. Estes demasiadamente demorados na produção de resultados satisfatórios e seguros. Contudo, a pesquisa em áreas nativas permite otimizar a obtenção destes resultados no tempo, verificando as tendências de crescimento e demais características da espécie em seu habitat natural.

Após definição de equação representativa do diâmetro de copa, foram traçadas manualmente linhas tangentes aos limites superior e inferior da relação diâmetro de copa e DAP (Figura 22). Tais limites foram definidos com as retas  $D_{\text{copa}}=0.20 \cdot \text{DAP}$  para a menor relação entre  $D_{\text{copa}}$  e DAP, e  $D_{\text{copa}}=0.6 \cdot \text{DAP}$  para a maior relação entre  $D_{\text{copa}}$  e DAP. Estas retas representam o menor e o maior espaço ocupado por uma árvore, e sua menor e maior copa para um dado diâmetro.

Figura 22 – Limites máximo e mínimo da relação diâmetro de copa e DAP em árvores de *Maclura tinctoria*, Porto Mauá, RS.



Fonte: A autora (2016).

Para um mesmo diâmetro as árvores apresentaram grande variação no tamanho de sua copa, por exemplo, para um DAP igual a 30 cm as copas variaram entre 6 e 15 metros. Tal variação ocorre provavelmente devido às características ambientais e a competição a que as árvores estão submetidas, e ratifica a plasticidade da espécie e sua capacidade de adaptação.

Com as retas de máximo e mínimo diâmetro de copas foi possível estimar as áreas de copa máxima e mínima para as árvores de *Maclura tinctoria* junto com o número de árvores por hectare, considerando 80% de cobertura da área total (Tabela 3).

Tabela 3 – Estimativa de áreas de copa máxima e mínima e número de árvores por hectare para *Maclura tinctoria*, Porto Mauá, RS.

DAP objetivo (cm)	Dcopa máximo (m)	Dcopa mínimo (m)	Área de copa (m <sup>2</sup> )		N/ha	
			Árvore de copa máxima	Árvore de copa mínima	Árvore de copa máxima	Árvore de copa mínima
20	12.8	4	127.7	12.6	62.7	636.6
25	15.8	5	194.8	19.6	41.1	407.4
30	18.8	6	276.1	28.3	29.0	282.9
40	24.8	8	481.1	50.3	16.6	159.2

Onde: DAP: diâmetro à altura do peito; N/ha: número de árvores por hectare.

Fonte: A autora (2016).

Com o número estimado de árvores por hectare foi possível calcular o espaçamento entre árvores para cada situação acima descrita (Tabela 4).

Tabela 4 – Estimativas de espaçamento para plantio de *Maclura tinctoria*, considerando sua medida de copa em Porto Mauá, RS.

DAP objetivo (cm)	Espaçamento (m)	
	Considerando a copa máxima	Considerando a copa mínima
20	12.6	4.0
25	15.6	5.0
30	18.6	5.9
40	24.5	7.9

Onde: DAP: diâmetro à altura do peito.

Fonte: A autora (2016).

Visando a produção de árvores com 40 cm de DAP, o espaçamento entre as mesmas deve estar entre os limites de 24.5 x 24.5 m, com um total de 16 árvores por hectare, e 7.9 x 7.9 m com um total de 159 árvores por hectare, considerando os valores mínimo de copa. A elevada variação dos diâmetros de copa para um DAP fixo ocasiona a alta variação nos valores de espaçamento e número de árvores aqui encontrados.

Um plantio puro de *Maclura tinctoria* em Honduras foi avaliado aos 30 anos de idade, o mesmo possui espaçamento de 4.6 x 4.6 m, totalizando 472 árvores em um hectare, desconsiderando a sua mortalidade. Estas árvores possuem DAP médio de 25.9 cm e IMA igual a 0.86 cm (CORDERO, J.; BOSHIER, D. H., 2003).

As estimativas geradas para um DAP igual a 25 cm considerando a situação das árvores com copa mínima (407.4 árvores/ha e espaçamento de 5 x 5 m) são similares aos dados do plantio em Honduras. No entanto, no plantio homogêneo há ainda maior número de árvores em um espaçamento menor, sugerindo que a espécie comporta ser implantada de forma mais adensada que o sugerido acima.

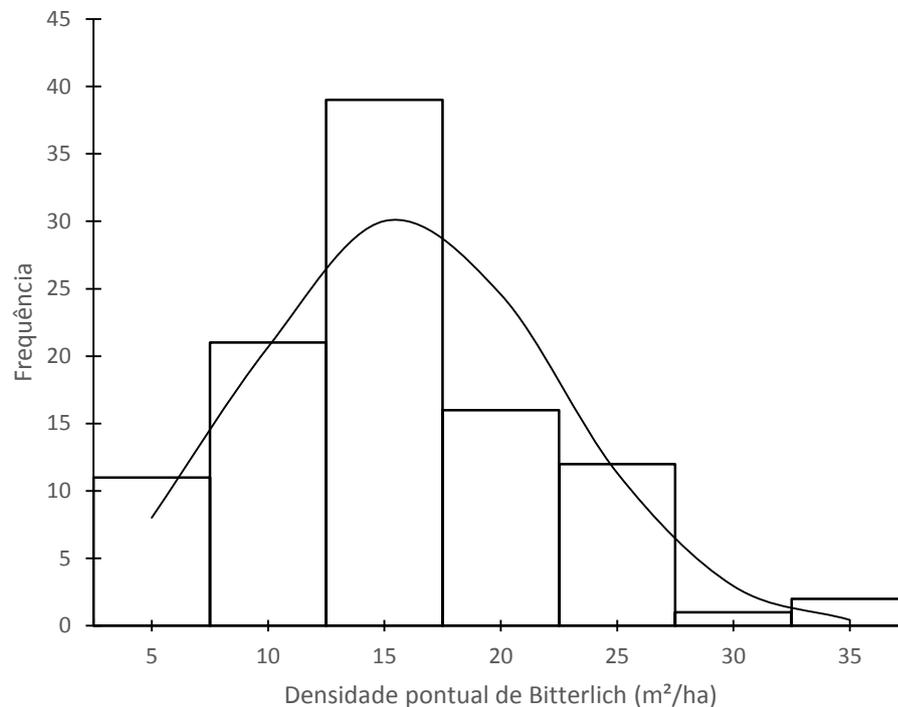
A espécie *Maclura tinctoria* possui aproveitamento mesmo para árvores de menores diâmetros, esta característica reforça a possibilidade de sua implantação adensada visto que se pode então aplicar desbastes no povoamento e aproveitar as árvores finas enquanto se regula a densidade do plantio para favorecer as árvores remanescentes.

As informações de copa máxima encontradas neste trabalho também podem ser úteis na aplicação da espécie em projetos de arborização urbana e de parques, visto que nestes projetos se utiliza como referência a copa máxima a ser alcançada pelas árvores.

#### **4.2.4 Densidade**

Foi avaliada a densidade pontual de 102 árvores de *M. tinctoria*. Os valores de densidade de Bitterlich (G/ha) utilizando FAB=1 em cada um dos pontos de localização de uma árvore tiveram variação de 4 a 35 m<sup>2</sup>/ha, e um valor médio de 15,75 m<sup>2</sup>/ha. O histograma de frequências pode ser visualizado na Figura 23.

Figura 23 – Histograma de frequências de densidade de Bitterlich para indivíduos de *Maclura tinctoria* em Porto Mauá, RS.



Fonte: A autora (2016).

A obtenção dos valores de densidade de Bitterlich é altamente influenciada pelo FAB utilizado. Considerando o FAB=1, cada árvore selecionada como concorrente representa 1 m²/ha de área basal.

### 4.3 RELAÇÕES MORFOMÉTRICAS

#### 4.3.1 Índice de saliência

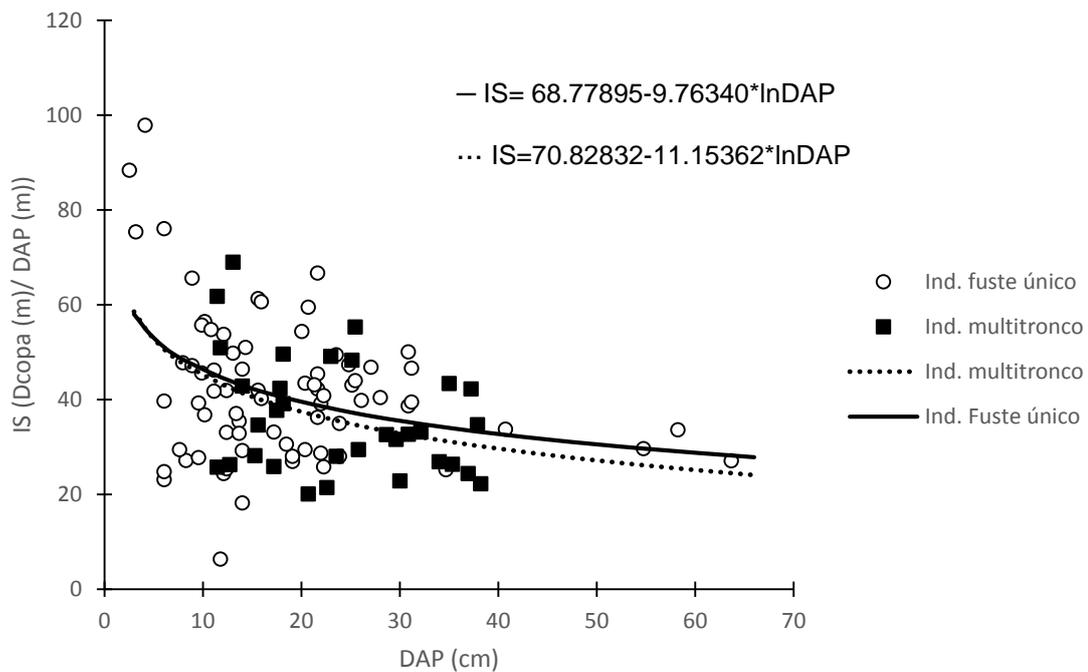
De acordo com o valor médio obtido pelo índice de saliência (IS), os indivíduos de *M. tinctoria* possuem uma copa ao redor de 40.2 vezes o seu DAP. Contudo, há grande amplitude de variação deste valor ( $IS_{\min}=6.37$ ;  $IS_{\max}=97.87$ ;  $CV=36.71\%$ ). Esta amplitude se dá, pois, o índice é uma relação do diâmetro de copa com o DAP, e ambas as variáveis apresentam grande variação para as árvores avaliadas.

Não se observaram diferenças estatísticas de inclinação ( $F=0.04$  e  $p=0.8362$ ) e nível ( $F=0.53$  e  $p=0.4663$ ) entre as curvas que descrevem o índice de saliência em

função do DAP para os indivíduos com fuste único e multitrancos. Como resultado para as árvores com fuste único e multitrancos, obteve-se os coeficientes  $b_0=68.77895$  e  $b_0=70.82832$ , e  $b_1=-9.76340$  e  $b_1=-11.15362$ , respectivamente. Logo, a tendência das árvores multitrancos é similar às árvores com fuste único, as copas de ambas as árvores estatisticamente não variam quando possuem mesmo DAP (Figura 24).

Considerando-se os valores de IS no limite superior do intervalo, pode-se inferir que o índice de saliência diminui com o aumento do DAP. Nota-se também que os valores máximos encontrados foram para árvores jovens com até 7.0 cm de DAP.

Figura 24 – Análise de covariância para índice de saliência de indivíduos de *Maclura tinctoria*, Porto Mauá, RS.



Fonte: A autora (2016).

Este índice pode ser utilizado como indicador do espaço necessário para cada árvore, e possibilita a determinação do número máximo de árvores por hectare quando considerado um dado diâmetro ou certa distribuição de diâmetros. Durlo e Denardi (1998) enfatizam a utilização deste índice para determinar o espaço a ser liberado ao redor de uma árvore selecionada, em povoamentos mistos e inequiâneos, para que esta cresça sem concorrência

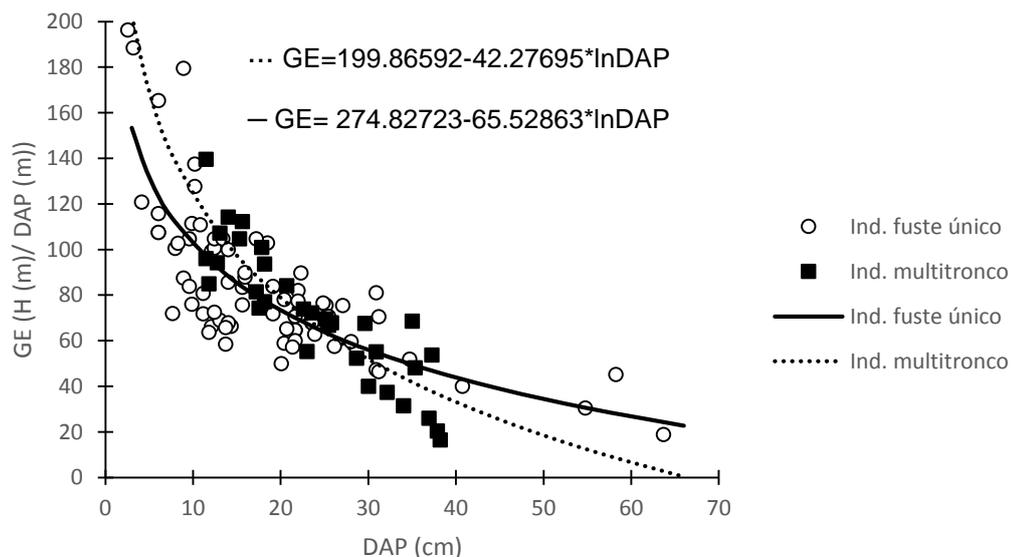
Se tomado o valor médio (40.22) como invariável, para se obter árvores de *M. tinctoria* com 20 cm de DAP, as copas das mesmas teriam um diâmetro de 8 metros. Supondo que estas permaneceriam circulares, caberiam aproximadamente 160 árvores/ha, sem concorrência entre elas. Utilizou-se para este cálculo o valor de 0.8 ha, pois, a cobertura da copa das árvores abrange somente 80% da área total do terreno (NUTTO, 2001).

#### 4.4.2 Grau de esbeltez

O grau de esbeltez (GE) apresentou comportamento descendente em relação ao DAP (Figura 25), com valor médio de 80.15, com mínimo de 16.49, máximo de 196.35, e CV=39.98%.

Analisando a tendência dos indivíduos multitrancos através de análise de covariância (F=6.66, p=0.0113) evidenciou-se a diferença de inclinação em relação aos indivíduos com fuste único. Indicando que no geral, para um mesmo DAP, as árvores multitrancos apresentam menores valores de altura em relação às árvores de fuste único com mesmo diâmetro.

Figura 25 – Análise de covariância para o grau de esbeltez ( $GE = b_0 + b_1 \cdot \ln DAP$ ) dos indivíduos de *Maclura tinctoria*, Porto Mauá, RS.



Fonte: A autora (2016).

Conforme visualizado graficamente o grau de esbeltez seguiu tendência exponencial negativa, com curva mais íngreme nas árvores de menores diâmetros, diminuindo e tendendo a estabilizar com o aumento da idade e do DAP.

Quando o GE é superior a 100, o crescimento em diâmetro se deve quase que totalmente ao crescimento em altura, pois a falta de luz devido à competição inibe o crescimento em diâmetro de copa e a árvore encontra-se proporcionalmente fina e alta, o que pode vir a interferir em sua estabilidade, principalmente se exposta à fortes ventos. Adicionalmente, deve-se considerar a madeira da espécie que apresenta densidade e resistência elevada possibilitando sustentar maior grau de esbeltez.

As árvores com valores de GE superiores a 150 são indivíduos jovens com DAP até 10 cm, que se encontram abaixo do dossel. Estas investem mais no crescimento em altura em relação ao crescimento em DAP, a fim de alcançar o dossel e a luz, visto que sua copa está crescendo sob forte concorrência. A partir de 20 cm de DAP as árvores apresentaram valores inferiores a 100, o que indica maior estabilidade das mesmas.

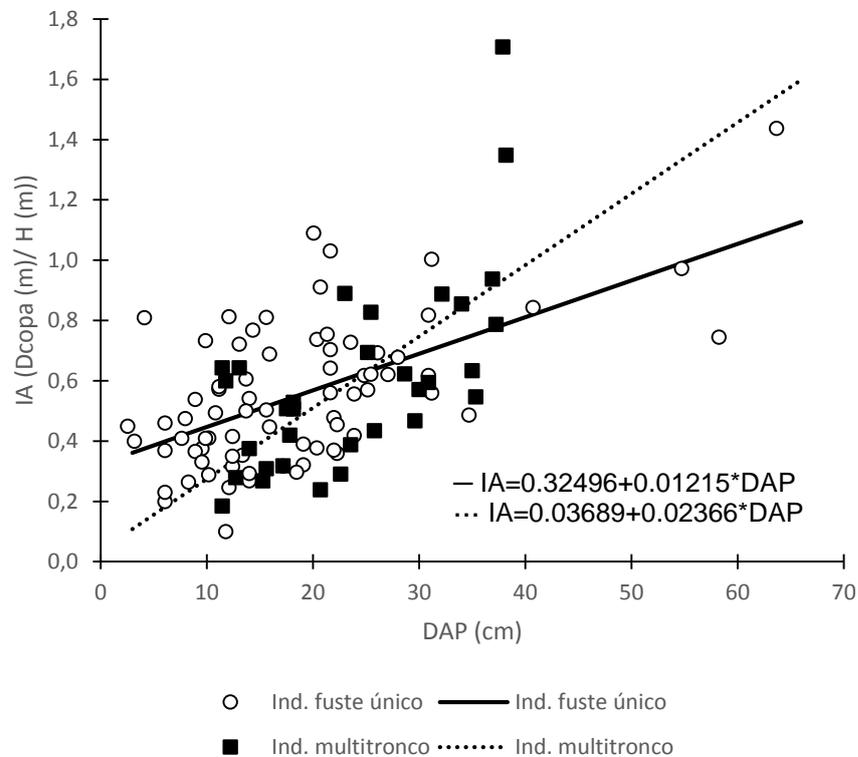
#### **4.3.1 Índice de abrangência**

O índice de abrangência (IA) apresentou média igual a 0.57, com valores de amplitude mínimo e máximo de 0.10 e 1.71. Este índice possui o maior coeficiente de variação dentre os índices morfométricos avaliados (CV=45.91%).

A análise de covariância foi significativa ( $F=2.88$  e  $p=0.0171$ ) para diferença de inclinação na tendência das árvores multitrancos (Figura 26).

As árvores multitrancos apresentam maior inclinação em relação às árvores com um fuste. Isto quer dizer que, para um mesmo diâmetro, as árvores multitrancos possuem menor altura em relação às demais, visto que o diâmetro de copa não difere estatisticamente entre os indivíduos multitrancos e de fuste único.

Figura 26 - Análise de covariância do comportamento do índice de abrangência de *Maclura tinctoria* em Porto Mauá, RS.



Fonte: A autora (2016).

O índice de abrangência adverte para a necessidade de espaço vital da árvore com o aumento da altura. Podendo ser indicadora de desbaste em povoamentos, quando se toma como controle uma altura objetivo.

Considerando o valor médio de IA apresentado e supondo que o mesmo não varie com a altura de *M. tinctoria*, indivíduos com 13.6 m de altura teriam uma copa com diâmetro de 7.75 metros (13.6 m x 0.57). Supondo as mesmas circulares e considerando a cobertura de 80% da área, caberiam aproximadamente 170 árvores/ha, sem haver concorrência entre elas. Neste cálculo, considerou-se ainda a coberta de 80% da área.

#### 4.4 CRESCIMENTO DE *Maclura tinctoria*

##### 4.4.1 Variáveis de influência no incremento

O grau de relação entre o incremento periódico anual em diâmetro e em área basal com as demais variáveis foi analisado pelo coeficiente de correlação de Pearson (Tabela 5). Exerceram influência significativa no incremento em área basal as variáveis DAP e suas variações, altura, diâmetro de copa e os índices morfométricos. Enquanto para o incremento em diâmetro nenhuma destas variáveis foi correlacionada significativamente.

Tabela 5 – Correlação de Pearson entre IPAd e IPAg e demais variáveis dendrométricas, morfométricas e climáticas.

		IPAd	IPAg
<b>DAP</b>	r	0.11464	0.9023
	p.	0.3308	<.0001
<b>H</b>	r	0.22205	0.44314
	p.	0.0572	<.0001
<b>Dcopa</b>	r	0.07252	0.68918
	p.	0.5392	<.0001
<b>GE</b>	r	-0.05383	-0.61819
	p.	0.6487	<.0001
<b>IS</b>	r	-0.0714	-0.16954
	p.	0.5455	0.1487
<b>IA</b>	r	-0.04507	0.43142
	p.	0.703	0.0001
<b>G/ha</b>	r	0.18556	-0.17251
	p.	0.1213	0.1503

Onde: IPAd: Incremento periódico anual em diâmetro; IPAg: incremento periódico anual em área basal; DAP: diâmetro à altura do peito; H: altura total; Dcopa: diâmetro de copa; GE: grau de esbeltez; IS: índice de saliência; IA: índice de abrangência; G/ha: densidade;  
Fonte: A autora (2016).

Conforme visualizado nenhuma variável se correlacionou significativamente com o incremento em diâmetro. A altura obteve correlação baixa e pouco significativa com esta variável, e os índices morfométricos não tiveram nenhuma influência significativa no IPAd.

A melhor correlação da variável resposta IPAg, foi obtida com o DAP, a qual apresentou forte correlação positiva, demonstrando que as árvores com maiores diâmetros têm maiores valores de incremento. E, por sua vez, as árvores finas tendem a incrementar menos. Isso se justifica pela estreita relação entre as variáveis área basal e DAP, pois quanto maior o DAP inicial da árvore proporcionalmente maior será o incremento em área basal, adicionado ao redor do tronco. Esta forte correlação indica o DAP como uma variável importante para prognose do crescimento em área basal.

Após o DAP, as maiores correlações do IPAg foram obtidas com as variáveis altura e diâmetro de copa, porém em menor intensidade que o DAP. Ambos indicando que a área basal aumenta à medida que se aumentam as dimensões das árvores.

As medidas de densidade de Bitterlich (G/ha) não tiveram correlação significativa com o incremento. Ou seja, não houve influência do número de árvores em torno de cada árvore central no crescimento da mesma, as árvores crescem mais ou menos sem interferência destas.

O grau de esbeltez mostrou relação negativa sobre o crescimento em área basal, demonstrando que indivíduos com menor índice incrementam mais em área basal que indivíduos com maior grau de esbeltez. Ou seja, quanto mais esbelta a árvore (fina e alta) menor seu incremento. O índice de saliência não mostrou correlação com o incremento em área basal.

O índice de abrangência apresentou correlação positiva significativa, indicando que quanto maior a relação entre diâmetro de copa e altura de uma árvore de *M. tinctoria* maior o incremento em área transversal dos indivíduos. Outros autores já descreveram as correlações entre os índices morfométricos e o incremento em área basal, demonstrando que a forma da árvore exerce influência em seu crescimento (MATTOS, 2007; PEREIRA, 2011; ROMAN et al., 2009; VUADEN, 2013).

#### **4.4.3 Taxa de crescimento**

Os indivíduos arbóreos apresentaram um  $IPAd = 0.566$  cm/ano, em um período de 10 anos, com coeficiente de variação de 25.33%, o menor dentre as variáveis analisadas. O incremento mínimo observado foi de 3.09 cm e o máximo de 12.14 cm para o período. Em relação ao incremento periódico anual em área basal (IPAg) a

média foi de  $17.5 \pm 8.54$  cm<sup>2</sup>/ano, com incremento mínimo observado de 3.82 cm<sup>2</sup>/ano e máximo de 45.21 cm<sup>2</sup>/ano, apresentando um CV de 48.79%.

Visto que o incremento apresentou grande variação foram analisadas separadamente as árvores com crescimento diamétrico superior em relação ao resto da população, a fim de verificar seu comportamento frente às demais. Foram analisadas 27 árvores com crescimento igual ou superior a 0.60 cm/ano. As quais apresentaram variáveis dendrométricas médias maiores que as medidas para o povoamento em geral (DAP= 24 cm; H= 16 m; Dcopa= 9.2 m). Como também mostraram menor variação média dos raios de copa e da seção transversal do fuste (CVRcopa%=64%; CVRfuste= 7%) e menor grau de esbeltez (GE= 71.20). Demonstrando maior regularidade na forma da copa e do tronco, e proporção mais equilibrada entre crescimento em altura e em DAP.

A árvore número 39 apresentou o maior incremento em diâmetro (IPAd=1.21 cm/ano). A mesma ainda é jovem e possui DAP de 19 cm, altura igual a 13.7 metros e diâmetro de copa igual a 5.4 m, contudo sua copa é assimétrica e embandeirada, pois a mesma apresenta dois (dos quatro raios de copa) com valores iguais a zero (CV%=122.6%). Indicando que para esta espécie crescer em diâmetro, não necessariamente se precise de uma copa regular e bem distribuída. A árvore se encontra em uma densidade de 25 m<sup>2</sup>/ha. Seu grau de esbeltez é igual a 72.1, índice de abrangência igual a 0.39 e o índice de saliência igual a 28.4.

Se consideramos somente o valor do índice de saliência da árvore com máximo incremento, e para um diâmetro objetivo de 20 cm, teríamos copas com 5.7 metros de diâmetro. Em um hectare, considerando as copas circulares e 80% de cobertura de área, caberiam 316 árvores de *M. tinctoria*, em um espaçamento de aproximadamente 5.6 x 5.6 metros.

Outro indivíduo com elevado crescimento em diâmetro é a árvore 18, a mesma cresce 0.68 cm/ano e se encontra praticamente livre de competição (G= 4 m<sup>2</sup>/ha), próximo à borda da área plana. Como se encontra em local com baixa densidade sua copa é a mais regular dentre as analisadas (CV%= 2.95%). Apresenta DAP de 40.7 cm, altura de 16.30 metros e Dcopa igual a 13.65 metros (GE= 40; IA= 0.84; IS= 33.74).

Considerando este indivíduo como uma árvore livre, e tomando seu índice de saliência como base, para se obter indivíduos com 40 cm de DAP em um hectare

(80% de cobertura) caberiam 56 indivíduos de *M. tinctoria* sem competição entre eles, em um espaçamento de aproximadamente 13.4x13.4 metros.

Da mesma forma, fixando esse índice de saliência, considerando as copas circulares e a cobertura de 80% da área, para os diâmetros objetivos de 10, 20 e 30 cm, teríamos respectivamente 897, 224 e 100 árvores por hectare, em espaçamentos de 3.33 x 3.33 m, 6.7 x 6.7 m e 10 x 10 m.

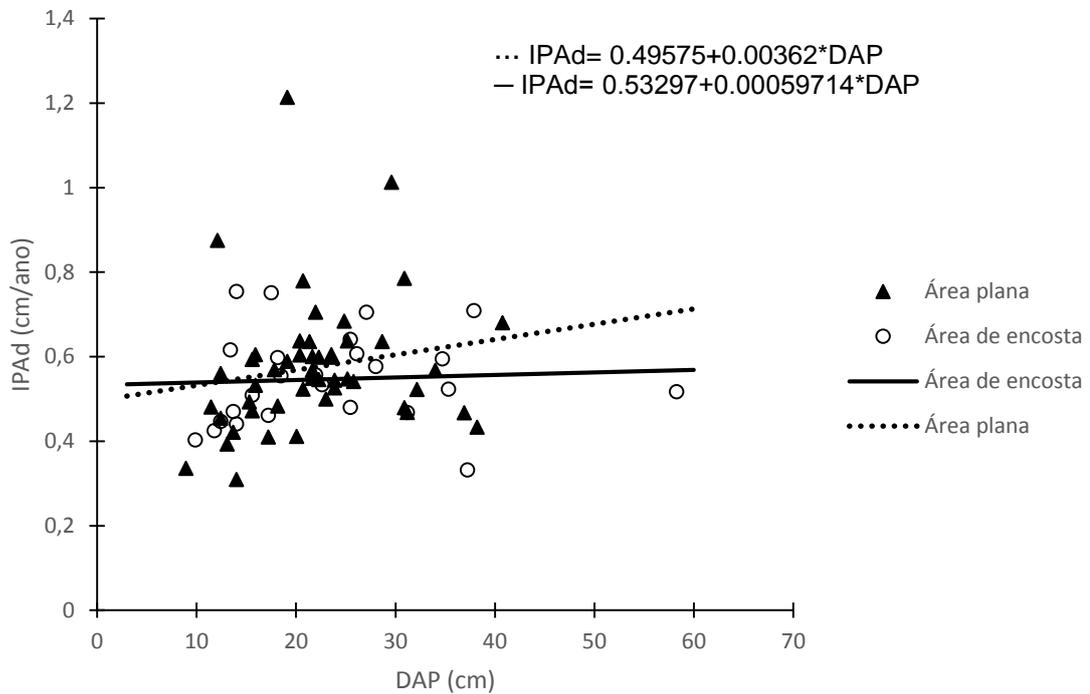
#### **4.4.4 Análise de covariância para incremento em diâmetro e área basal**

Em relação às áreas plana e de encosta a análise apresentou um valor de  $F=0.61$  a uma probabilidade igual a 0.4389, não demonstrando diferença de inclinação de uma área para a outra. Analisando somente o nível ( $F=0.78$  e  $p=0.38$ ) também não houve diferença de comportamento entre as áreas (Figura 27).

Foi possível analisar o efeito do DAP no IPAd, e o mesmo não foi significativo. Em relação às árvores multitrancos, a análise resultou em um  $F=0.00$  e  $p=0.9831$ , não sendo significativo para diferentes inclinações. Na análise para diferentes níveis ( $F=0.83$  e  $p=0.36$ ) também não há significância.

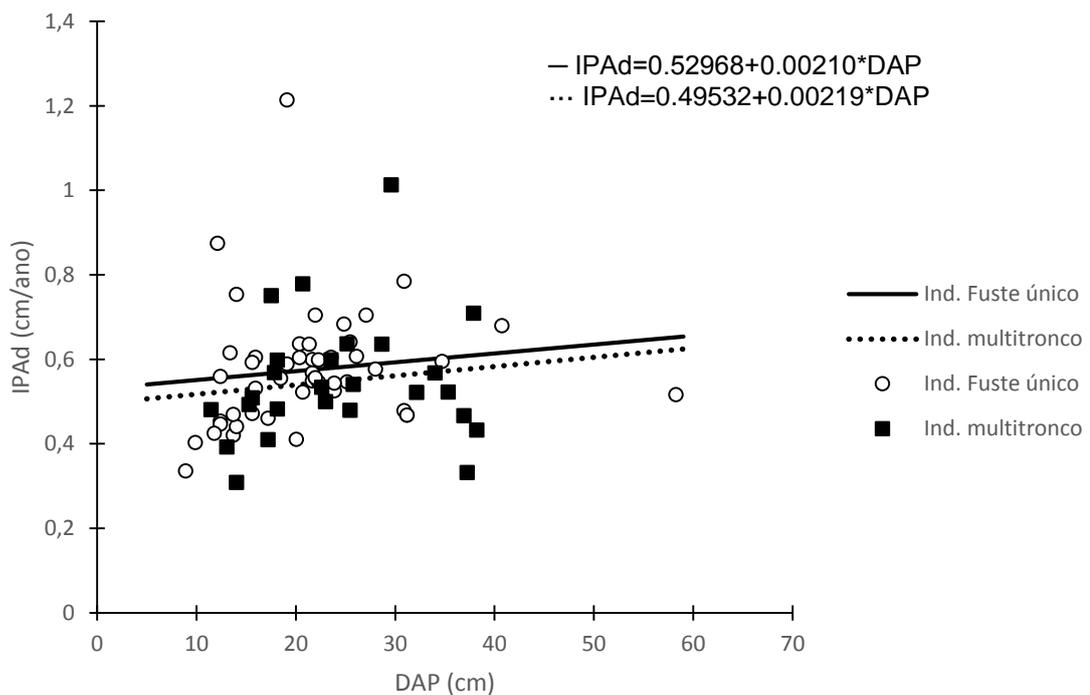
Na análise das árvores multitrancos o DAP também não apresentou efeito significativo no IPAd. As árvores multitrancos e as com um fuste único apresentam estatisticamente mesmo comportamento (nível e inclinação) (Figura 28).

Figura 27 – Análise de covariância de IPAd em relação às áreas plana e de encosta para *Maclura tinctoria* em Porto Mauá, RS.



Fonte: A autora (2016).

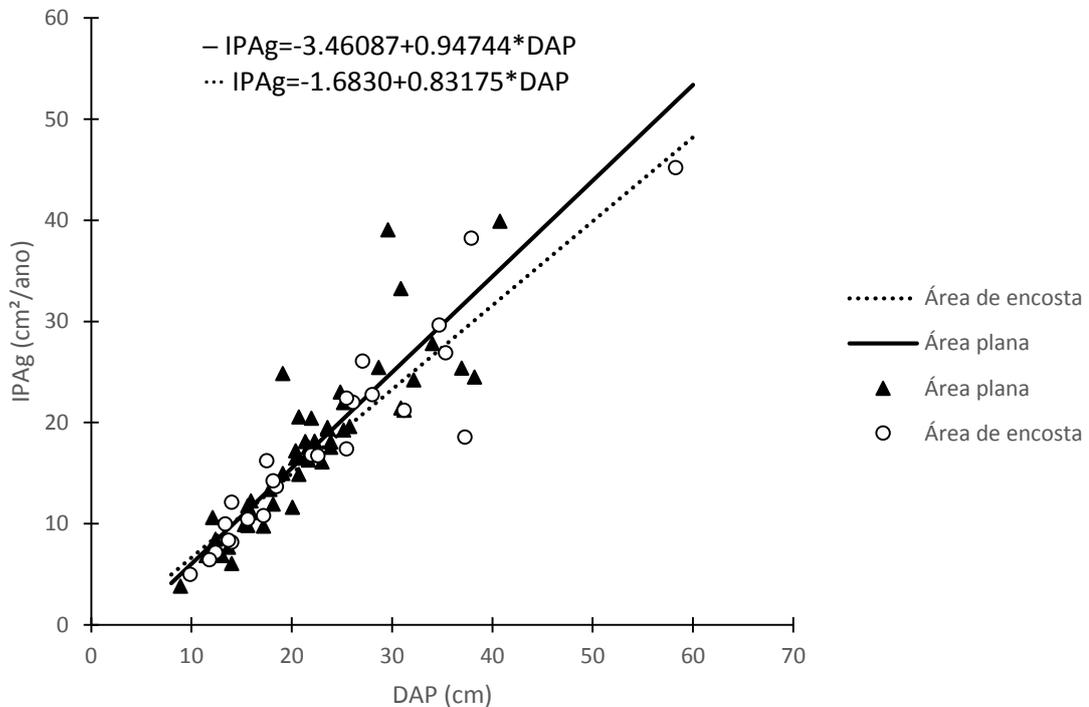
Figura 28 – Análise de covariância em relação às árvores multitroncos de *Maclura tinctoria*, Porto Mauá, RS.



Fonte: A autora (2016).

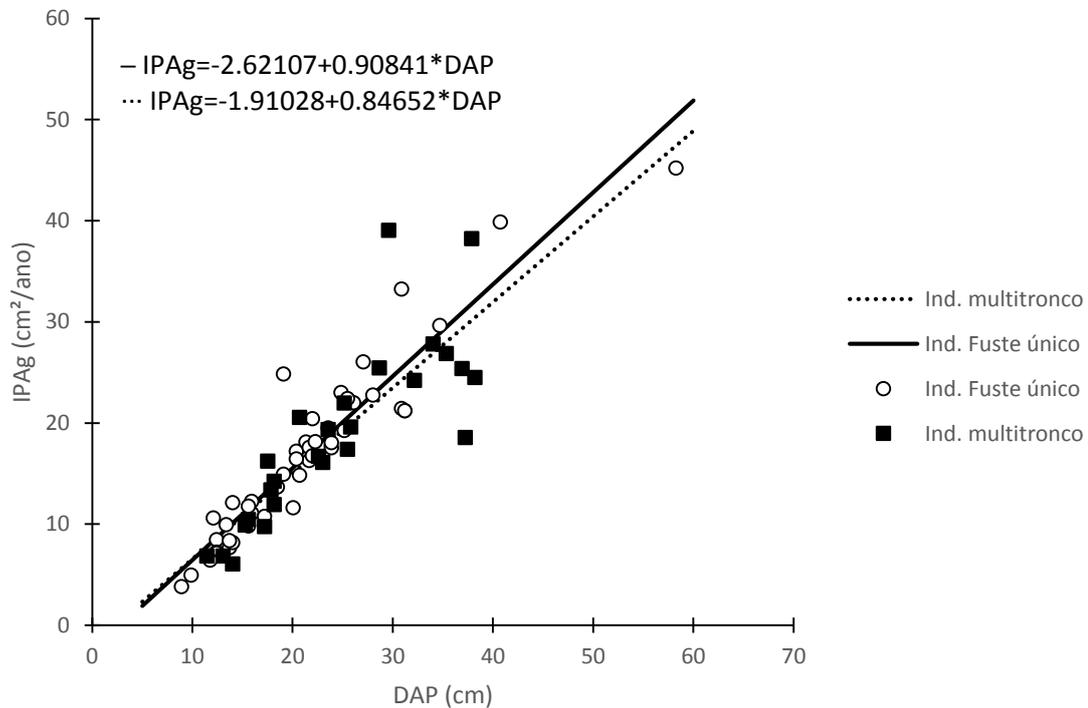
Os dados de IPAg em relação ao DAP apresentam tendência crescente e não apresentam desaceleração no crescimento, confirmando a alta correlação presente entre estas variáveis. Na análise de covariância entre as áreas plana e de encosta não houve diferença significativa de inclinação ( $F=1.34$  e  $p=0.2502$ ) e nível ( $F=0.85$  e  $p=0.3606$ ) (Figura 29). Assim como não houve diferença estatística entre as árvores multitroncos e as árvores com um único fuste, para diferença de inclinação ( $F=0.33$  e  $p=0.5660$ ) como para diferença de nível ( $F=0.65$  e  $p=0.4242$ ) (Figura 30). Apresentando ambas o mesmo comportamento em relação ao IPAg.

Figura 29 – Análise de covariância para o incremento em área basal de *Maclura tinctoria* nas áreas plana e de encosta em Porto Mauá, RS.



Fonte: A autora (2016).

Figura 30 – Análise de covariância para incremento em área basal de *Maclura tinctoria* em relação à indivíduos multitroncos, Porto Mauá, RS.



Fonte: A autora (2016).

#### 4.4.4 Modelagem de incremento periódico anual em área basal

Primeiramente modelou-se o incremento periódico anual em área basal em função do DAP. A equação ajustada foi  $IPAg = -2.28646 + 0.881008 * DAP$  (Equação 1) e apresentou um coeficiente de determinação de 0.81 e  $Sy_x = 3.70$ . Contudo, verificou-se que o intercepto não foi significativo. Adicionalmente, a equação não cumpre os pressupostos de análise de regressão, com os testes de White e Shapiro Wilk sendo significativos ( $W = 7.96$  e  $p = 0.018$ ;  $W = 0.91$  e  $p < .0001$ , respectivamente). Logo, os dados não apresentam normalidade e homocedasticidade.

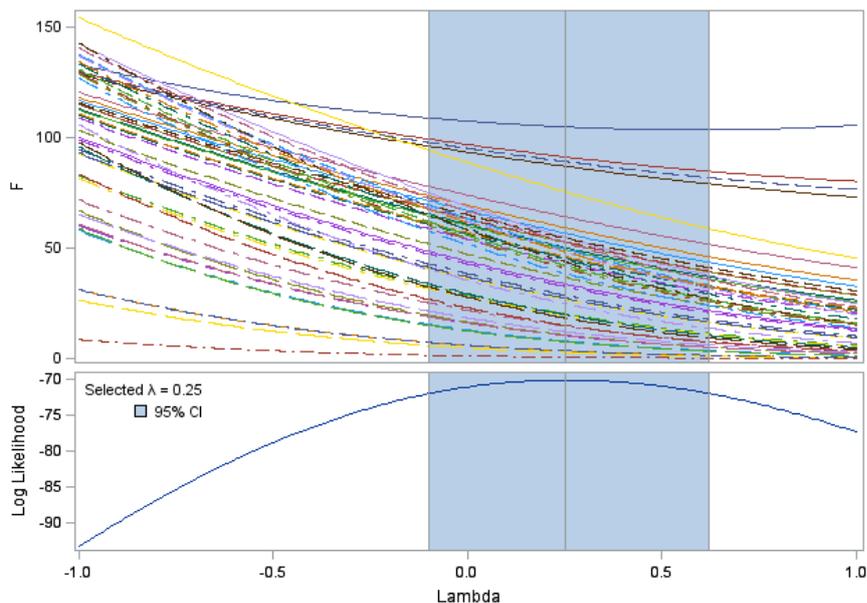
Em vista do intercepto não ser significativo, ajustou-se novamente a equação sem o intercepto ( $IPAg = 0.7925 * DAP$ ) (Equação 2). O coeficiente de determinação foi de 0.80 e  $Sy_x = 3.77$ . As condicionantes de análise de regressão também não foram completamente atendidas, com o teste de Shapiro Wilk sendo significativo ( $SW = 0.89$  e  $p < .0001$ ), não apresentando normalidade dos dados.

Em vista dos dados não apresentarem normalidade, verificou-se a necessidade de transformação Box-cox na variável dependente, que originou um valor com lambda

igual a 0.25 e com zero contido no intervalo de confiança (Figura 31). Possibilitando além do uso do valor de lambda, a transformação logaritmica do IPAg para obtenção da homocedasticidade da variância e a normalidade.

Ajustou-se primeiramente o IPAg elevado no valor de lambda (0.25) em função do DAP. A equação gerada apresentou como coeficientes  $b_0=1.4304$  e  $b_1=0.0253$  (Equação 3), com um  $R^2_{aj}= 0.78$  e  $S_{yx}=0.117$ . Os testes de Shapiro Wilk e Durbin Watson não foram significativos ( $SW=0.97$  e  $p=0.1752$ ;  $DW=1.88$  e  $p=0.7101$ ), apresentando normalidade e independência dos resíduos. Tal equação, no entanto não cumpriu todas as condicionantes de análise de regressão. Com o teste de White ( $W=17.38$  e  $p=0.0002$ ) sendo altamente significativo, não apresentando homocedasticidade.

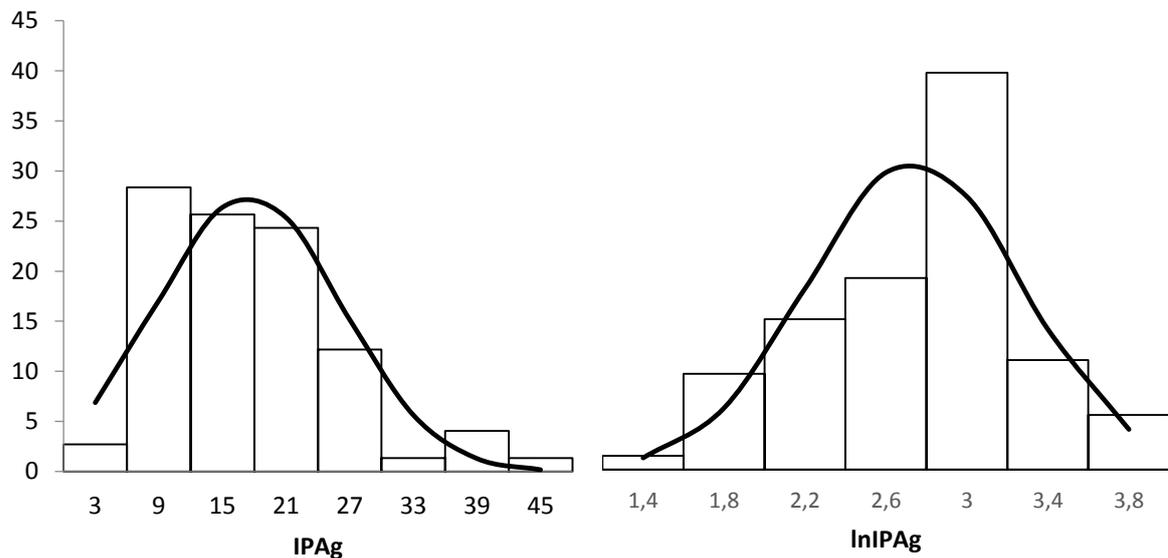
Figura 31 – Análise Box-Cox do IPAg de *Maclura tinctoria* no software SAS.



Fonte: A autora (2016).

Utilizando a transformação logaritmica da variável dependente (Figura 32) ajustou-se modelo de regressão utilizando o procedimento *stepwise* no software SAS.

Figura 32 – Histogramas do IPAg não normalizado e com distribuição normal após logaritimização de *Maclura tinctoria*, Porto Mauá, RS.



Fonte: A autora (2016).

A equação ajustada apresentou como variável independente o inverso do diâmetro à altura do peito (Equação 4).

$$\ln IPAg = 4,016 - 24,936 \frac{1}{dap}$$

A mesma apresentou bons resultados estatísticos, com  $R^2$  ajustado de 0.88,  $Syx$  de 0.177 e um CV% igual a 6.46%. Ou seja, 88% da variação do crescimento periódico em área basal foi explicada pela regressão com a variável única 1/DAP. O resumo estatístico e a ANOVA da função podem ser visualizados na Tabela 6.

Tabela 6 – Análise de variância e resumo estatístico dos parâmetros estimados do IPAg em função do inverso do DAP de árvores de *M. tinctoria*.

Variável	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Modelo	1	16.8654	16.8654	537.85	<.0001
Erro	72	2.2577	0.0314		
Total	73	19.1231			

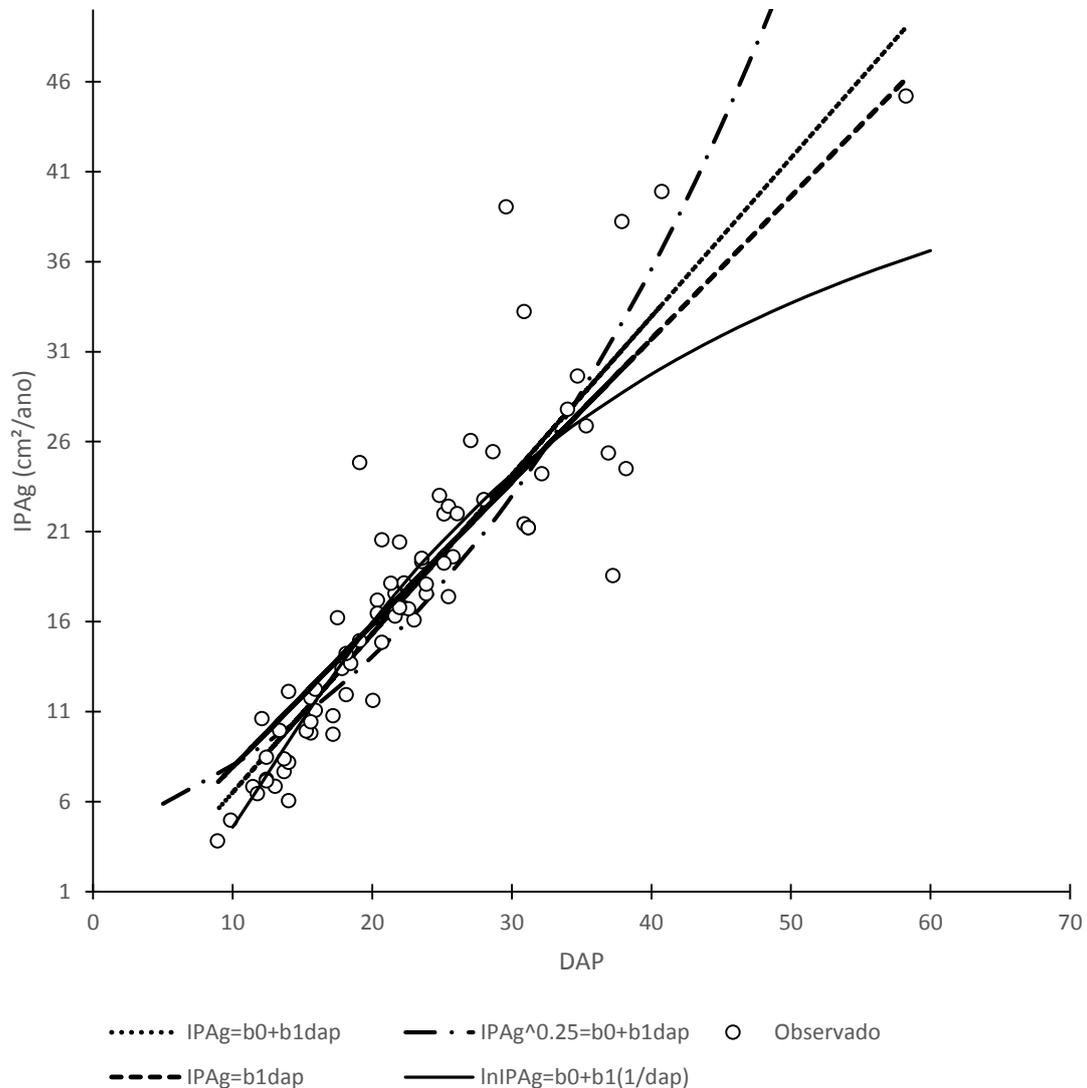
Variável	GL	Parâmetro estimado	Erro padrão	Valor de t	Pr >  t
Intercepto	1	4.016	0.0587	68.43	<.0001
1/DAP	1	-24.935	1.0752	-23.19	<.0001

Fonte: A autora (2016).

A dispersão dos resíduos em função da variável dependente mostrou distribuição homogênea. Na análise dos resíduos a equação demonstrou homogeneidade da variância pelo teste de White ( $W=0.56$ ,  $p.=0.75$ ), normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk ( $SW=0.96$ ,  $p.=0.09$ ) e independência dos resíduos pelo teste de Durbin-Watson ( $DW=1.91$ ,  $p.=0.66$ ), atendendo por completo as condicionantes de análise de regressão.

A Figura 33 evidencia o ajuste das equações de IPAg sobre os dados observados à campo. Conforme visualizado no gráfico há tendência do IPAg reduzir seu crescimento nos maiores diâmetros ao se utilizar a Equação 4 com a variável dependente  $\ln IPAg$ . Justamente devido ao comportamento logarítmico da equação. No outro extremo, nas mesmas classes de diâmetro, a Equação 3 possui tendência exponencial ascendente. Enquanto as Equações 1 e 2, são traçadas em meio a estes extremos. Como não há amostragem suficiente nas maiores classes de diâmetro, não se pode afirmar qual linha possui melhor ajuste nesta amplitude de dados. Da mesma forma, não se tem amostras suficientes de indivíduos com DAP inferior a 10 cm.

Figura 33 – Ajuste da curva de IPAg em escala logarítmica em relação ao DAP de *Maclura tinctoria*, Porto Mauá, RS



Fonte: A autora (2016).

Contudo, para uma aplicação exploratória e simplificada, pode-se utilizar a Equação 2 ( $IPAg=0.7925 \cdot DAP$ ) para explicar a tendência de incremento, mesmo sem que esta atenda todas as condicionantes de regressão. Pois ela é uma simples proporção entre o DAP e IPAg, facilitando sua aplicação prática.

A Equação 4, com a variável dependente logaritimizada, respondeu diretamente ao inverso do DAP, e apresentou todas as condicionantes de análise de regressão. Sendo dentre todas, a que possui melhor ajuste estatístico.

Todas equações ajustadas tiveram como variável independente o DAP, a utilização desta variável para predizer o incremento tem fator positivo por ser de fácil obtenção à campo, favorecendo a aplicabilidade das equações nas práticas de manejo florestal.

## 5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos neste estudo é possível concluir que:

- As árvores multitrancos no geral tem comportamento semelhante às árvores com fuste único. Entretanto, apresentaram maior variação de copa e diferenças de inclinação para os índices de abrangência e grau de esbeltez.
- *Maclura tinctoria* possui crescimento moderado à rápido, apresentando, portanto, grande potencial para manejo da espécie.
- A distribuição espacial indicou agrupamentos para uma escala superior a 15 metros.
- Os índices morfométricos variaram amplamente, demonstrando a plasticidade da espécie.
- Há ampla variação nos raios de copa, caracterizando sua irregularidade.
- A espécie comporta altas densidades e pode ser implantada em plantios adensados.
- As variáveis morfométricas, não exerceram influência significativa no incremento em diâmetro dos indivíduos de *Maclura tinctoria*. O que indica que o crescimento em diâmetro é estatisticamente o mesmo, independente da forma da árvore.
- O grau de esbeltez e índice de abrangência apresentaram correlação com o IPAg.
- Foi possível definir equações com bons ajustes para a altura, diâmetro de copa e incremento em área basal da espécie.
- Todas as equações elaboradas tiveram como variável dependente o DAP, indicando a forte correlação desta variável com as demais características das árvores de *Maclura tinctoria*.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANJOS, A; et al. Análise do efeito de um manejo em regime de rendimento sustentável sobre o padrão de distribuição espacial do palmiteiro (*Euterpe edulis* Martius), utilizando a função K de Ripley. **Revista Árvore**, v.22, n. 2, p. 215-225, 1998.
- ARAGÃO, M. A. de; et al. Modelos de altura para *Pterogyne nitens* Tul. em plantio puro no sudoeste da Bahia. **Enciclopédia Biosfera**. Goiânia, v. 11, n. 21, p 1340-1351, 2015.
- ASSMANN, E. **The principles of Forest yield study**. New York: Pergamon, 1970. 506 p.
- BATTILANI, J. L.; SANTIAGO, E. F.; SOUZA, A. L. T. 2006. Morfologia de frutos, sementes e desenvolvimento de plântulas e plantas jovens de *Maclura tinctoria* (L.) D.Don. ex Steud. (Moraceae). **Acta Botanica Brasilica** 20:581-589.
- BECHTOLD, W. A. Crown-diameter prediction models for 87 species of stand-grown trees in the Eastern United States. **South. Appl. For.** 27(4), p. 269-278. 2003.
- BIGING, G. S.; DOBBERTIN, M. Evaluation of competition indices in individual tree growth models. **Forest Science**, Lawrence, v.41, p. 360-377, 1995.
- BOURDY, G.; CHAVES-DE-MICHEL, L. R.; ROCA-COULTHARD, A. Pharmacopoeia in a shamanistic society: the Izoceño-Guarani (Bolivian Chaco). **J. Ethnopharmacol.**, Limerick, v. 91, p. 189-208, 2004.
- BUSSAB, Wilton O.; MORETTIN, Pedro A. **Estatística Básica**. 4ª ed. São Paulo: Atual, 1995.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. 1. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas. 2003. 1039p.
- CHAPMAN, H. H; MEYER, W. H. **Forest mensuration**. McGraw-Hill Book Co. New York. 1949. 522 p.
- CHASSOT, T. **Modelos de crescimento em diâmetro de árvores individuais de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze na Floresta Ombrófila Mista**. 2009. 48 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.
- CHASSOT. T. **Densidade e incremento diamétrico de árvores individuais da Floresta Ombrófila Mista**. 2013. 142 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.
- CORDERO, J.; BOSHIER, D. H. (Ed.). **Árboles de Centroamerica: un manual para extensionistas**. Costa Rica: Catie, 2003. 1079 p.

CRESSIE, N. A. C. **Statistics for spatial data**. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1991. 900 p.

CUNHA, T. A. da. **Modelagem do incremento de árvores individuais de *Cedrela odorata* L. na Floresta Amazônica**. 2009. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

CUNHA, T. A. da. **Crescimento de espécies florestais madeiráveis como subsídio para o manejo florestal na Amazônia Ocidental**. 2013. 107 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

CUNHA, T. A.; FINGER, C. A. G. Competição assimétrica e o incremento diamétrico de árvores individuais de *Cedrela odorata* L. na Amazônia ocidental. **Acta amazônica**. V. 43, n.1, p.9-18, 2013.

DELLA-FLORA, J. B., **Modelos de crescimento para árvores singulares: *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez. e *Ocotea puberula* Ness.** 2001. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

DURLO, M. A. Relações morfométricas para *Cabralea canjerana* (Well.) Mart. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.11, p.141-149, 2001.

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

FELFILI, J. M; SILVA JÚNIOR, M. C. Distribuição dos diâmetros numa faixa de cerrado na Fazenda Água Limpa (FAL) em Brasília, DF. **Acta Botanica Brasilica**. v. 2, p 85-104. 1988.

GOMES, G. A. C.; et al. Plant regeneration from callus cultures of *Maclura tinctoria*, an endangered woody species. **In Vitro Cell. Dev. Biol. - Plant**, Columbia, v. 39, p. 293-295, 2003.

HASENAUER, H.; MONSERUD, R. A. A crown model for Austrian forests. **Forest Ecology and Management**. v. 84, p. 49–60, 1996.

HENRICKSEN, H. A. Height-diameter curve with logarithmic diameter: brief report on a more reliable method of height determination from height curves, introduced by the State Forest Research Branch. **Dansk Skovforen Tidsskr**, v. 35, p. 193 202, 1950.

HUSCH, B.; BEERS, T. W.; KERSHAW, J. A. **Forest mensuration**. 4. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2003. 443 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual Técnico de Vegetação Brasileira**. (Manuais Técnicos em Geociências, 1). Rio de Janeiro, 1992. 92p.

- LAMOUNIER, K. C.; et. al. Chemical analysis and study of phenolics, antioxidant activity, and antibacterial effect of the wood and bark of *Maclura tinctoria* (L.) D. Don ex Steud. **Evid.-Bas. Compl. Alt. Med.**, New York, v. 2012, 7 p., 2012.
- LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos Trópicos**. Hamburg: GTZ, 1990. 343 p.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 5. ed. Nova Odessa, SP:, Instituto Plantarum, 2008. v. 1. 384 p.
- MARCHIORI, J. N. C. **Dendrologia das angiospermas: das magnoliáceas às flacurtiáceas**. Editora UFSM: Santa Maria, RS. 1997. 271 p.
- MARCUZZO, S.; PAGEL, S. M. & CHIAPPETTI, M. I. S. 1998. **A Reserva da Biosfera da Mata Atlântica no Rio Grande do Sul: situação atual, ações e perspectivas**. São Paulo, Consórcio da Mata Atlântica e Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica. Caderno 11, 60p.
- MARTINS, S. V. (Org.). **Ecologia de florestas tropicais do Brasil**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2012. v. 1. 371 p.
- MATTOS, R. B. **Produtividade e incremento de *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart., *Cedrela fissilis* Vell. e *Cordia trichotoma* (Vell) Arrab. Ex Steud., em floresta nativa do Rio Grande do Sul**. 2007. 106 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.
- MENDES, B. R.; CALEGARIO, N.; VOLPATO, C. E. S.; MELLO, A. A. de. Desenvolvimento de modelos de crescimento de árvores individuais fundamentado em equações diferenciais. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 254-263, 2006.
- NUTTO, L. Manejo do crescimento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. baseado na árvore individual. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n.2, p. 9-25, jul./dez. 2001.
- PEREIRA, L. D. **Dendroecologia de *Cedrela fissilis* (Vell.) na região de Santa Maria, RS**. 2011. 63 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.
- PERES-NETO, P. R. **Introdução a análises morfométricas**. Oecologia Brasiliensis, 2:57-89. 1995.
- PORTÉ, A.; BARTELINK, H. H. Modelling mixed forest growth: a review of models for forest management. **Ecological Modelling**, 150(1–2): p 141–188, 2001.
- PORTO MAUÁ. Prefeitura Municipal. **Plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos**. Estado do Rio Grande do Sul, 2014.
- PRETZSCH, H. **Forest dynamics, growth and yield**. Springer, Berlin, 2008. 664 p.

- RAMBO, B. **A fisionomia do Rio Grande do Sul**: ensaio de monografia natural. 2. ed. Porto Alegre: Selbach, 1956. 456 p.
- REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. **Projeto madeira do Rio Grande do Sul**. *Sellowia*, vols. 34-35. 1983. 525 p.
- ROMAN, M.; BRESSAN, D. A.; DURLO, M. A. Variáveis morfométricas e relações interdimensionais para *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. Ex Steud. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 473-480, 2009.
- SANCHÉZ-GONZÁLEZ, M.; CAÑELLAS, I.; MONTERO, G. Generalized height-diameter and crown diameter prediction models for cork oak forests in Spain. **Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales**, v 16, n 1, p 76-88, 2007
- SCOLFORO, J.R.S. **Manejo Florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 438 p.
- SCOLFORO, J. R. S.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Biometria Florestal**: medição e volumetria de árvores. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 310p.
- SECRETARIA DO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO RIO GRANDE DO SUL (SEMA-RS). Principais resultados do inventário florestal contínuo, 2010. Disponível em <[http://www.sema.rs.gov.br/conteudo.asp?cod\\_menu=355](http://www.sema.rs.gov.br/conteudo.asp?cod_menu=355)>
- SILVEIRA, B. D. Fitossociologia, crescimento e competição de três espécies nativas da Floresta Estacional Semidecidual da região central do Rio Grande do Sul. 2014. 105 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.
- SILVEIRA, B. D. da. et al. Relação da morfometria e competição com o crescimento de *Trichilia clausenii* em um fragmento de Floresta Semidecidual, RS. **Floresta**, Curitiba, v.45, n. 2, p. 373-382, 2015.
- SOUZA, A. L.; SOARES, C. P. B. **Florestas Nativas**: estrutura, dinâmica e manejo. Viçosa, MG: Editora UFV, 2013. 322p
- SPURR, S. H., **Forest inventory**. New York. The Ronald Press. 1952, 476 p.
- TONINI, H.; ARCO-VERDE, M. F. Morfologia da copa para avaliar o espaço vital de quatro espécies nativas da Amazônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 7, p. 633-638, 2005.
- VACCARO, S.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R.; LONGHI, S. J. Incremento em área basal de árvores de uma floresta estacional decidual, em três fases sucessionais, no município de Santa Tereza, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 131-142. 2003.
- VANCLAY, J. **Modelling Forest Growth and Yield**: applications to mixed tropical forests. CAB International. UK. 1994. 312 p.

VERÍSSIMO, A. **Estratégia e Mecanismos Financeiros para Florestas Nativas do Brasil**. Food and Agricultural Organization of the United Nations, 2006. 40 p.

VUADEN, E. **Morfometria e incremento de *Cordia trichotoma* (Vell) Arrab. ex Steud. na região central do Rio Grande do Sul**. 2013. 101 p. Tese (Doutorando em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013

URBANETZ, C.; OLIVEIRA, V. M.; RAIMUNDO, R. L. G. **Padrão espacial, escala e síndromes de dispersão**, 2003. Disponível em:  
<<http://www2.ib.unicamp.br/profs/fsantos/relatorios/ne211r3a2003.pdf>>