

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE – UNICENTRO**  
**SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS – SEAA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS - PPGF**

**BIOMASSA E FLORA EPIFÍTICA DE COPAS DE *Araucaria angustifolia***

Emílio Carlos Zilli Ruiz

**Irati, PR**

**2017**

**EMÍLIO CARLOS ZILLI RUIZ**

**BIOMASSA E FLORA EPIFÍTICA DE COPAS DE *Araucaria angustifolia***

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Área de Concentração em Manejo de Florestas Naturais, Departamento de Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Estadual do Centro-Oeste, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho

Co-orientadores:

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fabiane Ap<sup>a</sup> Retslaff Guimarães

Dr. Rodrigo Geroni Mendes Nascimento

Catálogo na Fonte  
Biblioteca da UNICENTRO

RUIZ, Emílio Carlos Zilli.  
R934b Biomassa e Flora Epifítica de copas de *Araucaria angustifolia* / Emilio Carlos Zilli Ruiz. – Irati, PR : [s.n], 2017.  
96 f.

Orientador: Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fabiane Aparecida Retslaff Guimarães

Coorientador: Dr. Rodrigo Geroni Mendes Nascimento

Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais.  
Área de concentração em Manejo de Florestas Naturais. Universidade Estadual do Centro-Oeste, PR.

1. Engenharia Florestal – dissertação. 2. Epífitas vasculares. 3. Fragmento de floresta. I. Figueiredo Filho, Afonso. II. Guimarães, Fabiane Aparecida Retslaff. III. Nascimento, Rodrigo Geroni Mendes. IV. UNICENTRO. V. Título.

CDD 634.9751

## TERMO DE APROVAÇÃO

Defesa Nº 101

**Emílio Carlos Zilli Ruiz**

### **“Biomassa e flora epifítica de copas de *Araucaria angustifolia*”**

Dissertação aprovada em 22/02/2017 como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais, da Universidade Estadual do Centro-Oeste, pela seguinte Banca Examinadora:



*Dr. Franklin Galvão*  
Universidade Federal do Paraná  
Primeiro Examinador



*Dr. Francelô Mognon*  
Instituto Ambiental do Paraná  
Segundo Examinador



*Dr. Afonso Figueiredo Filho*  
Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Orientador e Presidente da Banca Examinadora

Irati - PR  
2017

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho, pela orientação, apoio, paciência e amizade.

Aos co-orientadores Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fabiane Aparecida Retslaff Guimarães e Dr. Rodrigo Geroni Mendes Nascimento pela ajuda e conversas, principalmente fora de expediente.

A Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO, presente em uma longa trajetória em minha carreira acadêmica.

A todos os Professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da UNICENTRO por proporcionar os ensinamentos adquiridos, em especial Andrea Nogueira Bueno, Júlio Arce e Henrique Koehler, bem como aos Professores Franklin Galvão e Yoshiko Kuniyoshi por terem concedido uma vaga para cursar suas disciplinas na pós-graduação da UFPR de imensa valia para o engrandecimento do autoconhecimento florestal.

Aos Professores do Departamento de Engenharia Florestal pelas válidas conversas nos corredores da Universidade.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa – CNPq pela bolsa de mestrado e financiamento da pesquisa.

A minha companheira Carla Fernanda Mussio que me acompanha fielmente em meus caminhos com muita paciência além de ajudar a nortear meus rumos com seus sábios conselhos.

A todos os integrantes, brasileiros e alemães, do Projeto “Imbituvão” pela paciência e auxílio na coleta de dados desta pesquisa, em especial Carlos Naujack pela logística das saídas à campo e Eraldo Rocha pelo auxílio com a motosserra e as pesagens dos materiais em campo, além de Alison Margraf, Mailson Roik, Jéssica Costa, Lucas Diniz e demais integrantes do projeto pelas parcerias.

Aos meus colegas de turma de pós-graduação pelas válidas discussões, em especial ao Everton Lorenzetti Tavares pelo auxílio com a secagem dos corpos de provas de tamanho expandido utilizado nesta pesquisa.

A todos os meus amigos, em especial o viveirista da UNICENTRO Ariel Gavlak pelo auxílio na mensuração dos volumes de todos os corpos de provas utilizados.

A toda minha família, irmãos Alessandro e Diego e suas esposas Thays e Fernanda, meus avós e em especial meu pai Emílio e minha mãe Vitória pelo exemplo concedido e por confiarem nessa minha trajetória acadêmica que venho percorrendo.

## RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar e modelar a biomassa aérea de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em fragmentos de Floresta Ombrófila Mista, bem como analisar a riqueza, diversidade e distribuição de epífitas vasculares em forófitos dessa espécie. Utilizou-se de dados primários oriundos de 30 árvores nativas manejadas em um Projeto de Pesquisa e Extensão do Departamento de Engenharia Florestal da UNICENTRO. A metodologia da pesquisa foi descritiva, analítica com dados primários, de abordagem quantitativa. Para a biomassa de fuste com casca foram retiradas amostras da árvore para determinar a densidade básica média e então extrapolar para toda a árvore por meio da cubagem. Em relação aos galhos e grimpas, foi mensurada a circunferência de base e comprimento de 209 galhos e pesados para ajustar equações. Foi também mensurada a circunferência do nó dos galhos quebrados para estimar a massa seca desses galhos. Para as epífitas, dividiram-se as árvores em três zonas de amostragem vertical e todos os indivíduos foram identificados e registrados em suas respectivas zonas. A média do comprimento dos galhos foi 4,06 m e da circunferência de base, 24,04 cm, ou seja, diâmetro de 7,65 cm. As médias das massas secas de galhos e ramos foliares (grimpas) foram de 6,473 e 1,644 kg, respectivamente. Para as estimativas das massas secas de galho e ramos foliares, quando inseridos no modelo variáveis relacionadas com comprimento e circunferência, os ajustes proporcionaram melhores resultados, seguido apenas da circunferência, com resultados próximos, e do comprimento. Para todos os casos, foi necessária transformação na variável dependente para atender a normalidade de resíduos e homogeneidade nas variâncias. Em relação à biomassa aérea parcial e total, 77,00% da massa seca foi proveniente do fuste com casca, 18,26% dos galhos e 4,74% dos ramos foliares. Para as estimativas da massa seca aérea total, fuste com casca e de galhos, o DAP apresentou maior Correlação de Pearson ( $r$ ) com valores de 0,93, 0,95 e 0,79, respectivamente. Para a massa seca de ramos foliares, a maior correlação foi com o comprimento de copa ( $r = 0,76$ ). Tanto para massa seca de ramos foliares, galhos e fuste, quanto total aérea, o modelo de Spurr apresentou os melhores resultados de  $R^2_{adj}$  e  $Syx$ , porém os coeficientes  $\beta_0$  de todas as equações foram não significativos a 1% de significância. Assim, para massa seca de ramos foliares, o modelo mais adequado foi o linear de simples entrada com o comprimento de copa ( $R^2_{adj} = 0,515$  e  $Syx = 24,48\%$ ); para os galhos, o de simples entrada com o DAP em valor absoluto ( $R^2_{adj} = 0,604$  e  $Syx = 35,30\%$ ); para o fuste com casca foi o de Schumacher-Hall linearizado ( $R^2_{adj} = 0,936$  e  $Syx = 8,92\%$ ) sendo esse modelo, também o mais adequado para o total ( $R^2_{adj} = 0,885$  e  $Syx = 12,82\%$ ). Ainda, foram levantados 2.837 indivíduos de epífitas vasculares pertencentes a 25 espécies. A família Orchidaceae apresentou maior riqueza de espécies (11) seguida de Polypodiaceae (sete). Para abundância, essas famílias também apresentaram mais indivíduos sendo a Polypodiaceae com 54,38% do total e Orchidaceae, 13,57%. A copa apresentou maior riqueza de espécies (21), seguido da base e do fuste, e maior abundância com 69,16% do total levantado. Dez espécies ocorreram apenas na copa, três na base e seis nas três zonas de amostragens. *Microgramma squamulosa* e *Pleopeltis hirsutissima* foram as espécies mais representativas e, o Índice de Shannon foi de 0,202 e de Pielou 0,684. Portanto, como principais conclusões pode se afirmar que os galhos de Araucárias nativas apresentam grandes dimensões podendo ser utilizados em usos específicos, além dessas árvores possuírem elevada biomassa sendo o DAP bastante correlacionado com esta variável. A flora epifítica em Araucária apresentou-se muito rica e diversa, sendo a copa o principal ambiente deste grupo de plantas.

Palavras-chave: Biomassa aérea total e parcial; Araucária nativa; Epífitas vasculares; Fragmento de floresta.

## ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate and model the aerial biomass of *Araucaria angustifolia* (Bertol) Kuntze in fragments of Mixed Ombrophilous Forest, as well as to analyze the richness, diversity and distribution of vascular epiphytes in forophytes of this species. It was used primary data from 30 native trees managed in a Research and Extension Project of the Department of Forestry of UNICENTRO. The research methodology was descriptive, analytical with primary data, in a quantitative approach. For trunk with bark biomass samples were taken from the tree to determine the mean basic density and then extrapolated to the entire tree by means of the trough. In relation to the leaf twigs and branches, the base circumference and length of 209 branches and weights were measured to fit equations. The circumference of the knot of the broken branches was also measured to estimate the dry mass of these branches. For the epiphytes, trees were divided into three vertical sampling zones and all individuals were identified and recorded in their respective zones. The average length of the branches was 4.06 m and the base circumference was 24.04 cm, that is, 7.65 cm diameter. The average dry masses of leaf twigs and branches were 6,473 and 1,644 kg, respectively. For the estimates of the dry masses of leaf twigs and branches, when inserted in the model variables related to length and circumference, the adjustments had the best results, followed only by the circumference, with close results, and the length. For all cases, it was necessary to transform the dependent variable to meet the normality of residues and homogeneity in the variances. Regarding partial and total aerial biomass, 77.00 % of the dry mass came from the trunk with bark, 18.26 % from the branches and 4.74 % from the leaf twigs. For the estimates of total aerial dry mass, trunk with bark and branches, DHB showed a higher correlation with Pearson's correlation ( $r$ ) of 0.93, 0.95 and 0.79, respectively. For the dry mass of leaf twigs, the highest correlation was with crown length ( $r = 0.76$ ). As for dry mass of leaf twigs, branches and trunk with bark, as well as aerial total, the Spurr model presented the best  $R^2_{adj}$  and  $Sy_x$  results, but the  $\beta_0$  coefficients of all the equations were not significant at 1%. Thus, for dry mass of leaf twigs, the most suitable model was the single entry linear with crown length ( $R^2_{adj} = 0.515$  and  $Sy_x = 24.48\%$ ); For the branches, the simple entry with the DHB in absolute value ( $R^2_{adj} = 0.604$  and  $Sy_x = 35.30\%$ ); Schumacher-Hall was the most suitable model for the trunk with bark ( $R^2_{adj} = 0.936$  and  $Sy_x = 8.92\%$ ). This model was also the most adequate for the total ( $R^2_{adj} = 0.885$  and  $Sy_x = 12.82\%$ ). Also, 2,837 individuals of vascular epiphytes belonging to 25 species were collected. The Orchidaceae family showed higher species richness (11) followed by Polypodiaceae (seven). For abundance, these families also presented more individuals being Polypodiaceae with 54,38% of the total and Orchidaceae, 13,57%. The crown showed a greater species richness (21), followed by the base and the stem, and greater abundance with 69.16% of the total raised. Ten species occurred only in the canopy, three at the base and six at the three sampling sites. *Microgramma squamulosa* and *Pleopeltis hirsutissima* were the most representative species, and the Shannon Index was 0.202 and Pielou 0.684. Therefore, as main conclusions can be affirmed that the native *Araucaria* branches present large dimensions that can be used in specific uses, besides these trees have high biomass and the DHB is very correlated with this variable. The epiphytic flora in *Araucaria* was very rich and diverse, with the crown being the main environment of this group of plants.

Keywords: Aerial biomass; Native *Araucaria*; Vascular epiphytes; Forest fragment.

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1:</b> DISTRIBUIÇÃO DAS UNIDADES FITOGEOGRÁFICAS MAIS REPRESENTATIVAS NO ESTADO DO PARANÁ. ....	4
<b>FIGURA 2:</b> LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO. ....	12
<b>FIGURA 3:</b> ESTRATIFICAÇÃO VERTICAL DO FORÓFITO EM TRÊS ZONAS DE AMOSTRAGENS. ....	14
<b>FIGURA 4:</b> ESQUEMA DA METODOLOGIA DO ESTUDO. ....	26
<b>FIGURA 5:</b> QUANTIDADE DE GALHOS MENSURADOS DISTRIBUÍDOS POR CLASSES DE CIRCUNFERÊNCIA. ....	30
<b>FIGURA 6:</b> QUANTIDADE DE GALHOS MENSURADOS DISTRIBUÍDOS POR CLASSES DE COMPRIMENTO. ....	30
<b>FIGURA 7:</b> DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS DAS ESTIMATIVAS DA MASSA SECA DE GALHO. ....	33
<b>FIGURA 8:</b> GRÁFICOS “ <i>SCALE-LOCATION</i> ” PARA OS QUATRO MODELOS AVALIADOS. ....	35
<b>FIGURA 9:</b> DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS DAS ESTIMATIVAS DA MASSA SECA DO GALHO. ....	37
<b>FIGURA 10:</b> GRÁFICOS “ <i>SCALE-LOCATION</i> ” PARA OS QUATRO MODELOS AVALIADOS. ....	38
<b>FIGURA 11:</b> DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS DAS ESTIMATIVAS DA MASSA SECA DE GALHO. ....	41
<b>FIGURA 12:</b> GRÁFICOS “ <i>SCALE-LOCATION</i> ” PARA OS QUATRO MODELOS AVALIADOS. ....	42
<b>FIGURA 13:</b> DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS DAS ESTIMATIVAS DA MASSA SECA DE GRIMPA. ....	45
<b>FIGURA 14:</b> GRÁFICOS “ <i>SCALE-LOCATION</i> ” PARA OS QUATRO MODELOS AVALIADOS. ....	46
<b>FIGURA 15:</b> DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS DAS ESTIMATIVAS DA MASSA SECA DE GRIMPA. ....	48
<b>FIGURA 16:</b> GRÁFICOS “ <i>SCALE-LOCATION</i> ” PARA OS QUATRO MODELOS AVALIADOS. ....	49
<b>FIGURA 17:</b> DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS DAS ESTIMATIVAS DA MASSA SECA DE GRIMPA. ....	51
<b>FIGURA 18:</b> GRÁFICOS “ <i>SCALE-LOCATION</i> ” PARA OS QUATRO MODELOS AVALIADOS. ....	52
<b>FIGURA 19:</b> DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PARA A ESTIMATIVA DA MASSA SECA DE GRIMPA. ....	71

<b>FIGURA 20:</b> DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PARA A ESTIMATIVA DA MASSA SECA DOS GALHOS.....	72
<b>FIGURA 21:</b> DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PARA A ESTIMATIVA DA MASSA SECA DE FUSTE. ....	72
<b>FIGURA 22:</b> DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PARA A ESTIMATIVA DA MASSA SECA AÉREA TOTAL DE ARAUCÁRIA. ....	73
<b>FIGURA 23:</b> ESTRATIFICAÇÃO VERTICAL DO FORÓFITO EM TRÊS ZONAS DE AMOSTRAGENS.. ....	82
<b>FIGURA 24:</b> DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DOS INDIVÍDUOS LEVANTADOS EM ZONAS DE AMOSTRAGEM. ....	88
<b>FIGURA 25:</b> CURVA DE RAREFAÇÃO. ....	92

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1:</b> TRANSFORMAÇÕES E COMBINAÇÕES DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES UTILIZADAS .....	25
<b>TABELA 2:</b> ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DO COMPRIMENTO, CIRCUNFERÊNCIA E DIÂMETRO DOS GALHOS AVALIADOS. ....	31
<b>TABELA 3:</b> ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DA MASSA VERDE, MASSA SECA E TEOR DE UMIDADE DOS GALHOS E DAS GRIMPAS. ....	31
<b>TABELA 4:</b> MODELOS AVALIADOS PARA ESTIMATIVA DA MASSA SECA DE GALHO EM FUNÇÃO DO COMPRIMENTO DO GALHO. ....	32
<b>TABELA 5:</b> COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DOS MODELOS AJUSTADOS. ....	32
<b>TABELA 6:</b> ESTATÍSTICAS DO TESTE DE NORMALIDADE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV (K-S) PARA OS RESÍDUOS DOS MODELOS AJUSTADOS. ....	34
<b>TABELA 7:</b> MODELOS AVALIADOS PARA ESTIMATIVA DA MASSA SECA DE GALHO EM FUNÇÃO DA CIRCUNFERÊNCIA DA BASE DO GALHO. ....	36
<b>TABELA 8:</b> COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DOS MODELOS AJUSTADOS. ....	36
<b>TABELA 9:</b> ESTATÍSTICAS DO TESTE DE NORMALIDADE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV (K-S) PARA OS RESÍDUOS DOS MODELOS AJUSTADOS. ....	38
<b>TABELA 10:</b> MODELOS AVALIADOS PARA ESTIMATIVA DA MASSA SECA DE GALHO EM FUNÇÃO DO COMPRIMENTO DA CIRCUNFERÊNCIA DA BASE DO GALHO. ....	39
<b>TABELA 11:</b> COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DOS MODELOS AJUSTADOS. ....	40
<b>TABELA 12:</b> ESTATÍSTICAS DO TESTE DE NORMALIDADE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV (K-S) PARA OS RESÍDUOS DOS MODELOS AJUSTADOS. ....	41
<b>TABELA 13:</b> MODELOS AVALIADOS PARA ESTIMATIVA DA MASSA SECA DE GRIMPA EM FUNÇÃO DO COMPRIMENTO DO GALHO. ....	44
<b>TABELA 14:</b> COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DOS MODELOS AJUSTADOS. ....	44
<b>TABELA 15:</b> ESTATÍSTICAS DO TESTE DE NORMALIDADE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV (K-S) PARA OS RESÍDUOS DOS MODELOS AJUSTADOS. ....	45
<b>TABELA 16:</b> MODELOS TESTADOS PARA ESTIMATIVA DA MASSA SECA DE GRIMPA EM FUNÇÃO DA CIRCUNFERÊNCIA DA BASE DO GALHO. ....	46
<b>TABELA 17:</b> COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DOS MODELOS AJUSTADOS. ....	47
<b>TABELA 18:</b> ESTATÍSTICAS DO TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV (K-S) PARA OS RESÍDUOS DOS MODELOS AJUSTADOS. ....	48
<b>TABELA 19:</b> MODELOS PARA ESTIMATIVA DA MASSA SECA DE GRIMPA EM FUNÇÃO DO COMPRIMENTO E DA CIRCUNFERÊNCIA DA BASE DO GALHO. ....	50
<b>TABELA 20:</b> COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DOS MODELOS AJUSTADOS. ....	50

<b>TABELA 21:</b> ESTATÍSTICAS DO TESTE DE NORMALIDADE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV (K-S) PARA OS RESÍDUOS DOS MODELOS AJUSTADOS .....	52
<b>TABELA 22:</b> EQUAÇÕES UTILIZADAS PARA ESTIMATIVA DA MASSA SECA DE GALHO E GRIMPA .....	63
<b>TABELA 23:</b> MODELOS AVALIADOS PARA ESTIMATIVA DE MASSA SECA PARCIAL E TOTAL AÉREA DE ARAUCÁRIA. ....	64
<b>TABELA 24:</b> VALORES MÉDIOS DAS VARIÁVEIS COLETADAS EM CAMPO. ....	65
<b>TABELA 25:</b> DENSIDADE BÁSICA MÉDIA DO FUSTE E DO TRONCO INERENTE A COPA. ....	66
<b>TABELA 26:</b> RESULTADO DO TESTE “F” E TESTE “T” PARA AS DENSIDADES DO FUSTE E DO TRONCO INERENTE A COPA .....	66
<b>TABELA 27:</b> VALORES MÉDIOS, ABSOLUTOS E RELATIVOS, DA MASSA SECA DOS COMPARTIMENTOS AVALIADOS POR CLASSE DE DAP.....	67
<b>TABELA 28:</b> MATRIZ DE CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE AS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E A MASSA SECA AÉREA TOTAL E PARCIAL. ....	69
<b>TABELA 29:</b> EQUAÇÕES PARA A ESTIMATIVA DE MASSA SECA PARCIAL E TOTAL AÉREA DE ARAUCÁRIA.....	70
<b>TABELA 30:</b> ESPÉCIES E RESPECTIVAS FAMÍLIAS ENCONTRADAS NO PRESENTE TRABALHO .....	85
<b>TABELA 31:</b> RIQUEZA DE ESPÉCIES, GÊNEROS E FAMÍLIAS NAS ZONAS DE AMOSTRAGEM.....	87
<b>TABELA 32:</b> CLASSIFICAÇÃO DAS ESPÉCIES EM RELAÇÃO AO VALOR DE IMPORTÂNCIA EPIFÍTICO BASEADO NAS FREQUÊNCIAS DOS INDIVÍDUOS POR ZONA DE AMOSTRAGEM. ....	89
<b>TABELA 33:</b> CLASSIFICAÇÃO DAS ESPÉCIES EM RELAÇÃO AO VALOR DE IMPORTÂNCIA EPIFÍTICO BASEADO NA DENSIDADE E FREQUÊNCIA GERAL DOS INDIVÍDUOS POR FORÓFITO .....	90
<b>TABELA 34:</b> RESULTADOS DOS CÁLCULOS DE AMOSTRAGEM PARA NÚMERO DE INDIVÍDUOS E DE ESPÉCIES DE EPÍFITAS. ....	92

## SUMÁRIO

1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS DA PESQUISA .....	1
1.1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.2 - REVISÃO DE LITERATURA .....	4
1.2.1 - Floresta Ombrófila Mista e <i>Araucaria angustifolia</i> .....	4
1.2.2 - Biomassa .....	5
1.2.3 - Modelagem da Biomassa .....	7
1.2.4 - Epífitas .....	8
1.3 - OBJETIVOS .....	10
1.3.1 - Objetivos gerais .....	10
1.3.2 - Objetivos específicos .....	10
1.4 - MATERIAL E METODOLOGIA GERAL .....	11
1.4.1 - Seleção de amostras e coleta geral de dados.....	11
1.4.2 - Determinação e estimativa da biomassa da Araucária.....	12
1.4.3 - Estudo da flora epifítica.....	13
1.5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	15
2 - AVALIAÇÃO E MODELAGEM DA BIOMASSA SECA DE GALHOS E GRIMPAS DE <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze. ....	19
2.1 - INTRODUÇÃO.....	21
2.2 - MATERIAL E MÉTODOS.....	24
2.2.1 - Coleta e organização dos dados .....	24
2.2.2 - Modelos testados para estimar biomassa individual de galho e grimpa .....	25
2.2.3 - Seleção de melhor modelo .....	27
2.3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	30
2.3.1 - Estatísticas da amostra .....	30
2.3.2 - Massa seca de galho em função do comprimento do galho.....	32
2.3.3 - Massa seca de galho em função da circunferência da base do galho.....	35
2.3.4 - Massa seca de galho em função do comprimento e da circunferência da base do galho.....	39
2.3.5 - Massa seca de grimpa em função do comprimento do galho .....	43
2.3.6 - Massa seca de grimpa em função da circunferência da base do galho .....	46
2.3.7 - Massa seca de grimpa em função do comprimento e da circunferência da base do galho.....	49

2.4 - CONCLUSÕES .....	54
2.5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	55
3 - BIOMASSA AÉREA DE ARAUCÁRIA E SUA MODELAGEM EM ÁRVORES NATIVAS.....	57
3.1 - INTRODUÇÃO.....	59
3.2 - MATERIAL E MÉTODOS.....	61
3.2.1 - Coleta de dados .....	61
3.2.2 - Cubagem .....	61
3.2.3 - Densidade do fuste e tronco inerente à copa e teor de umidade .....	61
3.2.4 - Biomassa total e parcial de Araucária.....	62
3.2.5 - Modelagem da biomassa aérea de Araucária.....	63
3.2.6 - Seleção de melhor modelo .....	64
3.3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	65
3.3.1 - Estatísticas da amostra .....	65
3.3.2 - Densidade.....	65
3.3.3 - Biomassa de Araucária .....	67
3.3.4 - Modelagem de biomassa parcial e total aérea de Araucária .....	69
3.4 - CONCLUSÕES .....	75
3.5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	76
4 - EPÍFITAS VASCULARES EM <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze.....	78
4.1 - INTRODUÇÃO.....	80
4.2 - MATERIAL E MÉTODOS.....	82
4.3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	84
4.3.1 - Resultados gerais .....	84
4.3.2 - Florística e diversidade .....	88
4.3.3 - Suficiência amostral.....	91
4.4 - CONCLUSÕES .....	93
4.5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	94
5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES.....	96

# 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS DA PESQUISA

## 1.1 – INTRODUÇÃO

As florestas, antes contínuas e abundantes, encontram-se atualmente fragmentadas com pouca ou nenhuma conexão entre remanescentes, dificultando o fluxo gênico. Muitos destes fragmentos encontram-se em propriedades privadas e são vistos como empecilhos para alguns proprietários, pois eles não possuem incentivos para mantê-las. Assim, diversos agricultores que dependem da área para geração de renda, acabam sendo levados ao desmatamento ilegal para conversão do uso do solo em agricultura ou pecuária.

O manejo da floresta como uma fonte de renda para o produtor rural pode ser uma boa alternativa para a conservação da mesma desde que feito com princípios e bases científicas adequadas, conhecidas a partir de experiências e estudos de caso. Desta forma, incentivar alternativas que conscientizem as pessoas a manejar as florestas de forma sustentável tem-se demonstrado eficaz em diversos países. Por exemplo, na Alemanha, há mais de 300 anos é realizado o manejo florestal sustentável (DFWR, 2017) sendo efetuado de forma cautelosa e a formação de novos cidadãos conscientes dá-se por meio da coexistência harmônica com a floresta.

Outra alternativa de incentivo que tem se demonstrado promissora à preservação e conservação das florestas está relacionada ao sequestro de carbono pelas árvores que, após sua quantificação, podem-se estimar os benefícios gerados e então remunerar o proprietário da área por meio de pagamento pelo Crédito de Carbono, sendo um dos inúmeros serviços ambientais proporcionados pela floresta. Para a quantificação do carbono armazenado na árvore, bases de dados de biomassa são necessárias e quanto mais detalhados e estratificados estes dados, melhor precisão e acurácia têm-se com os resultados. Esta estratificação dos dados está relacionada a resultados por compartimento da árvore, ou seja, partes da mesma tais como: tronco, casca, galhos finos, galhos grossos, folhas, material reprodutivo, dentre outros. Porém, conforme Silva (2007), a quantificação da biomassa e carbono em florestas é inviável pelo método direto, conhecido por método destrutivo, pois a derrubada das árvores para a mensuração da biomassa e carbono não é plausível, principalmente em florestas. Então, devem-se aprimorar métodos indiretos para as estimativas de biomassa e quantidade de carbono, para cada compartimento da árvore, por meio da modelagem com coletas esporádicas de dados via método direto.

Estudos relacionados à biomassa têm crescido consideravelmente, seja pela preocupação cada vez maior da população com a natureza quanto com aspectos econômicos, pois além da relação destes estudos com o carbono e o ciclo biogeoquímico, a conversão da

matriz energética fóssil (petróleo) para matriz de biomassa já é uma realidade e está sendo implantada em diversos locais, tanto em esfera nacional como internacional. De acordo com Goldemberg (2009), as projeções para o futuro indicam que a importância da biomassa aumentará muito, chegando a representar no fim do século XXI de 10 a 20% de toda a energia usada pela humanidade, sendo considerados álcool, pellets, biogás, dentre outros combustíveis oriundos de biomassa.

Para Socher *et al.* (2008), as pesquisas relacionadas à biomassa florestal contemplam muito mais o aspecto econômico que o ecológico. Assim, os estudos enfatizam mais a parte do fuste da árvore que os demais compartimentos, sendo que folhas, galhos e materiais reprodutivos são as principais matérias-primas, oriundas do estrato arbóreo, formadoras da serapilheira, que mantêm a exuberância do ecossistema florestal.

Caldeira *et al.* (2015), em estudos de biomassa por unidade de área em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, encontraram que, para árvores de 32 anos, 53,5% do total da biomassa seca aérea foi proveniente do lenho do fuste, enquanto que o restante (46,5%) foi de casca (18,9%), galhos vivos (18,5%), ramos foliares (7,1%) e galhos mortos (2,0%). Assim, apenas galhos vivos e seus respectivos ramos foliares corresponderam a 25,6% da biomassa total, sendo raros estudos mais detalhados sobre estes compartimentos.

Em relação ao manejo em florestas particulares, as intervenções controladas, com fins madeireiros e não-madeireiros, devem partir de estudos de caso de conhecimento do desenvolvimento da floresta para, assim, realizar uma exploração de forma consciente e prudente para que seja viável economicamente e, principalmente, ambientalmente de forma que a floresta possa se recuperar partindo do princípio da dinâmica da floresta.

Segundo Nutto (2001), o manejo de florestas dominadas por Araucárias é muito restritivo para proteger estes últimos remanescentes. Além disso, a proteção via proibição de uso significa uma desvalorização do bem, tendo como consequência, em alguns casos, a perda de interesse na conservação da matéria-prima. Por isso, de acordo com este mesmo autor, formas de manejo que consideram o lucro e a conservação, geralmente, são mais eficientes.

Portanto, um projeto de estudos de intensidade de intervenção de corte em fragmento de Floresta Ombrófila Mista, impactos gerados e a recuperação do ambiente pós-exploração estão sendo conduzidos pelo Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná (UNICENTRO) em parceria com a Hochschule für Forstwirtschaft – Rottenburg am Neckar (HFR) da Alemanha. Nesse estudo, inicialmente, está ocorrendo o manejo de alguns indivíduos arbóreos e os dados oriundos desta atividade estão sendo utilizados para a construção de uma base de dados sólida e detalhada sobre a biomassa aérea destes indivíduos em seus diferentes compartimentos.

Quando intervenções na floresta são realizadas, diversos fatores devem ser levados em consideração para que ocorra uma minimização dos impactos ambientais gerados. Um desses fatores está relacionado com a realocação de epífitas que são espécies que vivem sobre outras sem prejudicá-las. Este grupo de plantas tem grande importância no ecossistema como um todo, atraindo diversos grupos de animais vertebrados e invertebrados, os quais atuam acelerando o processo de recuperação do meio.

Benzig (1990) afirmou que a área que compreende as Florestas Neotropicais possui a maior representatividade em epifitismo e abriga um grande número de famílias endêmicas e com muitos indivíduos, como por exemplo, a família Bromeliaceae. Desta forma, são de grande importância o conhecimento e a preservação da comunidade epifítica.

Em relação aos estudos da flora epifítica de Araucária, destaca-se os de Becker *et al.* (2015) em estudos de epífitas em indivíduos nativos e de Boelter e Fonseca (2007) em forófitos nativos e plantados. Ainda, Buzatto *et al.* (2008), Kersten *et al.* (2009) e Bianchi e Kersten (2014) realizaram estudos de epífitas vasculares em Floresta Ombrófila Mista onde indivíduos de *Araucaria angustifolia* foram selecionados como unidades amostrais. Porém, é importante salientar que, para todos estes estudos de epífitas, os forófitos foram analisados por meio de caminhadas pelas trilhas, binóculos e eventuais escaladas, sendo que não se encontrou estudos de epífitas vasculares em Araucária após o corte do forófito, com o levantamento completo da flora epifítica ao longo de todo o organismo. Vale ressaltar que esta pesquisa só foi possível em decorrência das demais pesquisas relacionadas ao manejo sustentável realizada pela UNICENTRO, potencializando as oportunidades de investigação e possibilitando a ampliação para o foco da conservação.

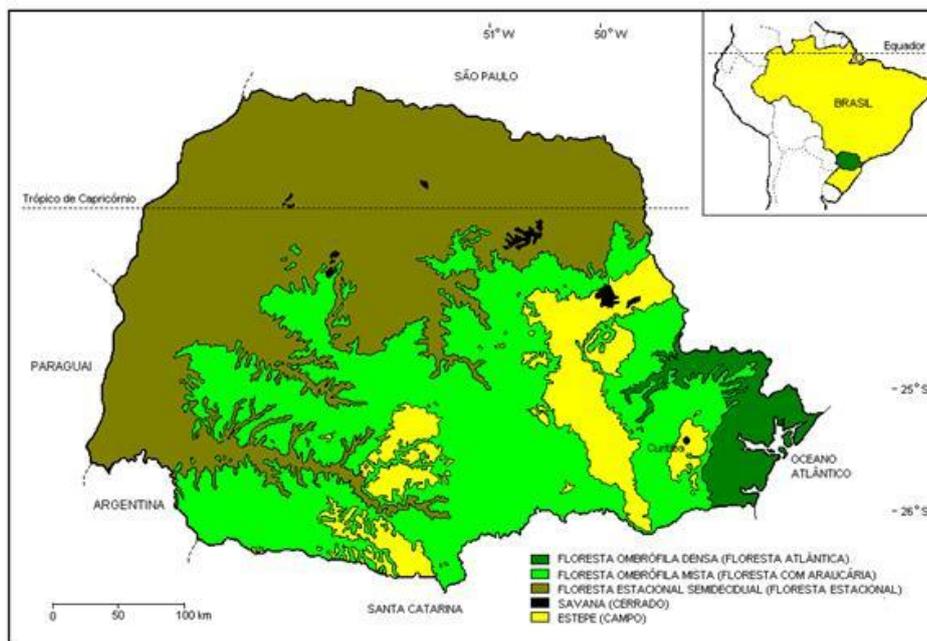
Sobre biomassa de Araucária, os estudos ainda são incipientes, destacando-se os de Watzlawick *et al.* (2003), Schumacher *et al.* (2011), Sanquetta *et al.* (2014) e Caldeira *et al.* (2015), porém todos são provenientes de dados oriundos de plantios. Em relação à biomassa individual de galhos e grimpas das Araucárias, não se encontrou nenhum trabalho abordando este tema.

Neste contexto, esta dissertação buscou aprimorar estudos relacionados à biomassa de *Araucaria angustifolia* bem como a flora epifítica que ocorre nesta espécie. No capítulo I está a literatura geral pertinente aos tópicos estudados e a metodologia geral aplicada. No capítulo II, foi realizado um estudo mais detalhado sobre a biomassa individual dos galhos e das grimpas da Araucária. O capítulo III aborda sobre a biomassa parcial e total da parte aérea desta espécie e, por fim, o capítulo IV traz um estudo sobre as epífitas vasculares que ocorrem ao longo de toda a árvore da espécie *Araucaria angustifolia*.

## 1.2 – REVISÃO DE LITERATURA

### 1.2.1 – Floresta Ombrófila Mista e *Araucaria angustifolia*

O Bioma Mata Atlântica no estado do Paraná, embora antes contínuo de leste a oeste, foi fragmentado em razão da área territorial ocupada e cinco grandes unidades geográficas destacam-se (RODERJAN *et al.*, 1993). Essas unidades compreendem a Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista, Floresta Estacional Semidecidual, além de fragmentos de Savana (cerrado) e Estepe (campos), conforme apresentado na Figura 1.



**FIGURA 1:** DISTRIBUIÇÃO DAS UNIDADES FITOGEOGRÁFICAS MAIS REPRESENTATIVAS NO ESTADO DO PARANÁ (FONTE: MAACK, 1950, modificado por Roderjan *et al.*, 1993).

A Floresta Ombrófila Mista é chamada popularmente de Mata com Araucárias, ou ainda pinhal (GUERRA *et al.*, 2002), por ter como constituinte principal *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze que, pelo seu porte e densidade, se-destaca das demais espécies na formação.

A Araucária é uma espécie dioica, da família Araucariaceae, com dimensões de 20 a 50 metros de altura com tronco retilíneo, de 90 a 180 cm de diâmetro com acículas glabras coriáceas, de 3 a 6 cm de comprimento. A árvore jovem possui forma piramidal, diferente da adulta. A espécie tem ocorrência de Minas Gerais e Rio de Janeiro até o Rio Grande do Sul em regiões de altitudes acima de 900 m, sendo que, no sul, acima a de 500 m (LORENZI, 2008). Ainda, esse mesmo autor considera a Araucária como espécie perenifólia, heliófita e pioneira. Porém, Imaguire (1979) *apud* Carvalho (2003), a Árvore é perenifólia, dioica, sendo uma espécie secundária longeva de temperamento pioneiro. Mattos (2011) descreve que os galhos ou ramos primários da Araucária são cilíndricos, com até 9,15 m de comprimento, e

alcançando 22 cm de diâmetro, sendo maiores os dos verticilos inferiores, e os ramos secundários ou grimpas são agrupados nas extremidades dos ramos primários.

Para Reitz *et al.* (1988), a *Araucaria angustifolia* constituiu, durante mais de um século, a maior fonte de exportação de madeira de toda a América Latina, seja em virtude de sua ocorrência, formando, por vezes, agrupamentos gregários muito densos, ou por sua valiosa madeira. Representou a mais importante espécie florestal, não só para o Sul do Brasil como para toda a América Latina.

Apesar de reduzida, descaracterizada e fragmentada, a Floresta Ombrófila Mista predomina nos três estados do Sul do Brasil e é possível encontrar remanescentes nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro (INOUE *et al.*, 1984; GUERRA *et al.*, 2002), apresentando acentuadas variações fitofisionômicas, estruturais e florísticas (KLEIN, 1960), que abrigam alta diversidade (GUERRA *et al.*, 2002).

A instalação de indústrias madeireiras juntamente com a queima indiscriminada da floresta para a formação de terras agricultáveis, ocasionou a extinção em muitos lugares e a grande redução em outros, das outrora extensas reservas que, em razão de sua magnitude pareciam inacabáveis, de modo que, matas primárias de *Araucaria angustifolia* são raramente encontradas em maciços extensos (MACHADO e SIQUEIRA, 1980).

Segundo Sanquetta (2003), a cobertura florestal natural do Paraná é de 18%, sendo cerca de 10% com florestas bem conservadas. Na Floresta de Araucária, especificamente, o percentual de cobertura florestal eleva-se para 24%, sendo quase 13% das florestas em bom grau de conservação com maiores concentrações de fragmentos na região Centro-Sul. Para Accioły (2013), a cobertura florestal remanescente no Paraná é de 18,51% sendo que, deste total, 32,62% correspondem a Floresta Ombrófila Mista.

## **1.2.2 – Biomassa**

O termo biomassa florestal significa toda a biomassa existente na floresta ou apenas na sua fração arbórea, e, em se tratando de biomassa de origem vegetal, vem sendo empregado o termo fitomassa florestal ou fitomassa arbórea (SANQUETTA, 2002). Segundo Caldeira (2003), o termo biomassa representa a matéria orgânica armazenada em um determinado ecossistema, pois especifica o valor numérico dos componentes presentes, além de ser fundamental nos estudos de ciclagem de nutrientes, conversão de energia, absorção e armazenamento de energia solar.

O interesse pela quantificação da biomassa florestal vem crescendo muito nos últimos anos, sendo este crescimento relacionado diretamente ao potencial que as florestas têm em acumular carbono atmosférico na sua biomassa (VISMARA, 2009). Vogel *et al.* (2006)

relataram também que estudos envolvendo quantificação da biomassa constituem a base para o conhecimento do estoque e dinâmica de nutrientes na floresta, e de como manejar esses ecossistemas de forma sustentada.

De acordo com Switzer e Nelson (1972), o processo de ciclagem de nutrientes, nos ecossistemas florestais, pode ser caracterizado em três tipos: ciclo geoquímico, que se refere à troca (entrada e saída) de elementos minerais entre os diversos ecossistemas; ciclo biogeoquímico, que é aquele que se estabelece nas relações entre o solo e a planta e a atmosfera; ciclo bioquímico, o qual relaciona as transferências internas dos elementos dentro dos processos vegetais.

Segundo Higuchi *et al.* (1998), as estimativas de biomassa florestal expressam informações imprescindíveis nas questões ligadas, entre outras, às áreas de manejo florestal e de clima. No manejo, a biomassa está relacionada com os estoques de macro e micronutrientes da vegetação, que são obtidos pelo produto da massa pelas concentrações de cada mineral. No caso do clima, a biomassa é usada para estimar os estoques de carbono, que, por sua vez, são utilizados para estimar a quantidade de CO<sub>2</sub> que retorna à atmosfera durante um processo de queimada.

Ainda, segundo Machado *et al.* (2010), a utilização de biomassa, para fins energéticos, é tão antiga quanto a própria civilização. Até o século XVIII, a principal fonte de energia da humanidade era a lenha. O emprego da biomassa como combustível, para geração de energia em média e larga escala, vem sendo objeto de estudo em diversos países, inclusive no Brasil.

Para Higuchi e Carvalho (1994), os estudos da biomassa florestal dividem-se em método direto ou determinação e método indireto ou estimativas. Determinação significa uma medição real feita diretamente na biomassa, por exemplo, a pesagem de um fuste inteiro por uma balança ou um dinamômetro. A estimativa da biomassa aérea pelo método indireto consiste em correlacioná-la com algumas variáveis de fácil obtenção como: Diâmetro à Altura do Peito (DAP), altura e área basal. Essas relações são feitas por meio de modelagem, a qual busca explicar um determinado fenômeno por um modelo estatístico.

Para Schumacher *et al.* (2011), o conhecimento do potencial de produtividade, melhor caracterizado pelo acúmulo de biomassa nos diferentes componentes das árvores, ao longo do ciclo produtivo e nas diferentes condições de desenvolvimento, é fundamental para a definição do manejo mais adequado.

De acordo com Brena *et al.* (1988), os resíduos florestais adquiriram tamanha importância que os inventários não podem prescindir da avaliação precisa deste componente. De acordo com Silva (2007), em florestas primárias e secundárias da região de Manaus, em

média, 69% da massa da árvore provém do fuste e 31% da copa, distribuídos em 11% galhos grossos, 17% galhos finos e 3% folhas.

Watzlawick (2003) relatou que, em um povoamento de *Araucaria angustifolia* de 30 anos, 11,64% da massa seca total, incluindo raízes, foi proveniente de galhos vivos totalizando 35,4 Mg.ha<sup>-1</sup>. Em relação às grimpas, este mesmo autor explicitou que 7,64% da massa seca total foi oriunda de ramos foliares, totalizando 20,9 Mg.ha<sup>-1</sup>. Somando estes valores, cerca de 20% da massa seca total da árvore corresponde a galhos e grimpas.

### 1.2.3 - Modelagem da Biomassa

Segundo Silva (2008) a modelagem matemática é baseada em hipóteses que tentam representar fenômenos físicos ou biológicos, com a finalidade de gerar uma equação que possa estimar quantitativamente tal(is) fenômeno(s) a um determinado nível de probabilidade.

Para Sanquetta *et al.* (2009), a regressão é a ferramenta utilizada para a construção de equações a partir de modelos matemáticos. É a técnica que permite analisar a relação existente entre duas ou mais variáveis e tem como objetivo estimar a variável de difícil mensuração em função de variável(is) de fácil mensuração.

Husch *et al.* (1982) relataram que, devido ao aumento do uso de medições de peso para produtos florestais se desenvolveu uma necessidade de estimar o peso da madeira em árvores em pé. Para estudos confiáveis de biomassa, é necessária, ao menos numa primeira abordagem, a execução de uma amostragem destrutiva, na qual são analisados os diversos componentes da árvore, sendo que a separação e a especificação desses componentes variam de acordo com o tipo de floresta e os objetivos a serem alcançados (SOCHER *et al.*, 2008).

Em estudos de biomassa, Santos (1996) e Higuchi *et al.* (1998) relataram que os modelos utilizados para descrever o relacionamento entre biomassa e as variáveis independentes da árvore são originados dos modelos para volume de madeira. Para Machado e Figueiredo Filho (2003), estimar o volume das árvores é, na maioria das vezes, a principal finalidade dos levantamentos florestais. Assim, vários pesquisadores florestais procuraram desenvolver metodologias que possibilitassem atender de forma acurada as necessidades práticas do cálculo do volume dito real dos fustes.

Para Higuchi *et al.* (1998) e Chave *et al.* (2005), os modelos logarítmicos têm sido os mais indicados para estimar a biomassa de florestas tropicais. Silva (2007) relatou em seu trabalho em florestas primárias e secundárias na região de Manaus que o peso individual acima do solo das árvores de floresta primária variou de 8 a 25.634 kg, sendo que a magnitude da diferença entre os dois foi de mais de 3.000 vezes. Quando estes pesos foram transformados em logaritmo natural, esta magnitude foi de aproximadamente 4,9 vezes.

Assim, possivelmente justificando a melhor adequação dos modelos logaritmizados para quantificação de biomassa.

De acordo com Campos *et al.* (1992), a expressão da massa seca como variável dependente é desejável, pois serve de base comparativa dentro de uma espécie e entre espécies, sendo que a massa verde varia com o teor de umidade do material.

Silva (1996) destacou a alta correlação que o DAP apresentou com o peso dos componentes das árvores, atingindo um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) maior do que 0,95 e distribuição de resíduos aceitáveis para os modelos ajustados. Afirmou também que devido a menor correlação do DAP com os pesos dos galhos e das folhas, faz-se necessário o seu uso na forma quadrática e associado com a altura total para composição do modelo matemático.

#### **1.2.4 – Epífitas**

Em uma definição ecológica, o epifitismo é uma interação comensal entre plantas, na qual uma espécie dependente, a epífita, beneficia-se do substrato proporcionado pela outra, o forófito, retirando nutrientes diretamente da atmosfera, sem desenvolver estruturas haustoriais (BENNETT, 1986).

As epífitas têm papel de fundamental importância na ciclagem dos nutrientes, que é um processo que contribui para a exuberância das florestas tropicais em detrimento de seu solo pobre. Elas, não tendo contato com o banco de nutrientes do solo, possuem adaptações morfológicas e fisiológicas que permitem sua sobrevivência se apoiando sobre árvores sendo, por conta disso, algumas vezes chamadas de espécies “atmosféricas”. Assim, a deposição de material decíduo de epífitas se torna uma fonte de entrada de água e nutrientes ao ecossistema florestal (OLIVEIRA, 2004). Atuam ainda, na regulação do microclima fornecendo ambiente propício para abrigo de animais e para nidificação (CESTARI, 2009).

A abundância e a riqueza de epífitas são consideravelmente menores em áreas com florestas secundárias quando comparadas com áreas de floresta primária, apresentando uma redução na diversidade com o incremento na alteração da paisagem (BARTHLOTT *et al.*, 2001). Assim, a comunidade epifítica pode ser considerada bioindicadora de distúrbios florestais e do estado de conservação das florestas (BORGO e SILVA, 2003; BARTHLOTT *et al.*, 2001), além de indicar poluição ambiental e mudanças climáticas (BARTHLOTT *et al.*, 2001).

Segundo Benzig (1990), as epífitas apresentam dois padrões diferentes de distribuição espacial como resposta às diferentes variações observadas no ambiente: (a) vertical, relacionada às variações de luminosidade, umidade e temperatura do dossel para o interior da floresta e, (b) horizontal, ligado às diferenças entre as formações vegetais e entre as espécies

de forófitos. Borgo e Silva (2003) afirmaram também que as epífitas possuem padrões de distribuição em pequena escala, respondendo diretamente às características das florestas em que se desenvolvem.

Para Dislich (1996), algumas espécies de epífitas somente se desenvolvem em locais onde há grande acúmulo de matéria orgânica, como bifurcações de galhos e fendas nas cascas das árvores. Porém, de acordo com Duarte (2013), um fator que se demonstra importante para o crescimento das epífitas é a capacidade de retenção de água pela casca do forófito, já que as epífitas não têm contato com o solo e devem retirar água do seu substrato, sendo este fator limitante ao crescimento da planta.

O conhecimento da contribuição do material epifítico deve ser incluído em futuros levantamentos, visto que se trata de um compartimento importante na composição do ecossistema, apesar de representar uma fração bastante pequena do total de biomassa (SOCHER *et al.*, 2008)

Ainda, Duarte (2013) afirmou que não foi encontrada diferença significativa na sobrevivência, continuidade de crescimento, reprodução sexuada e fixação de epífitas em forófitos de espécies distintas em Floresta Estacional Semidecidual em São Paulo. Nievola e Tamaki (2009), relataram que as epífitas possuem taxas de sobrevivência consideravelmente maior quando transplantadas em períodos de chuva.

## **1.3 – OBJETIVOS**

### **1.3.1 – Objetivos gerais**

Avaliar e modelar a biomassa aérea de Araucária e realizar estudos sobre a sua flora epifítica vascular em Floresta Ombrófila Mista no Paraná.

### **1.3.2 - Objetivos específicos**

- Conhecer a amplitude de valores de comprimentos e circunferências da base de galhos de Araucária bem como massa seca individual da parte lenhosa e da grimpa desses galhos e desenvolver modelos para estimativa dessa biomassa;
- Avaliar a biomassa aérea total e parcial por compartimento (galhos, grimpas e fuste com casca) de Araucária e desenvolver modelos estatísticos para essas estimativas em fragmentos florestais.
- Quantificar e qualificar a diversidade de epífitas vasculares em árvores nativas de Araucária;
- Determinar a riqueza, densidade e frequência por zona de amostragem vertical das epífitas vasculares em Araucária.

## 1.4 – MATERIAL E METODOLOGIA GERAL

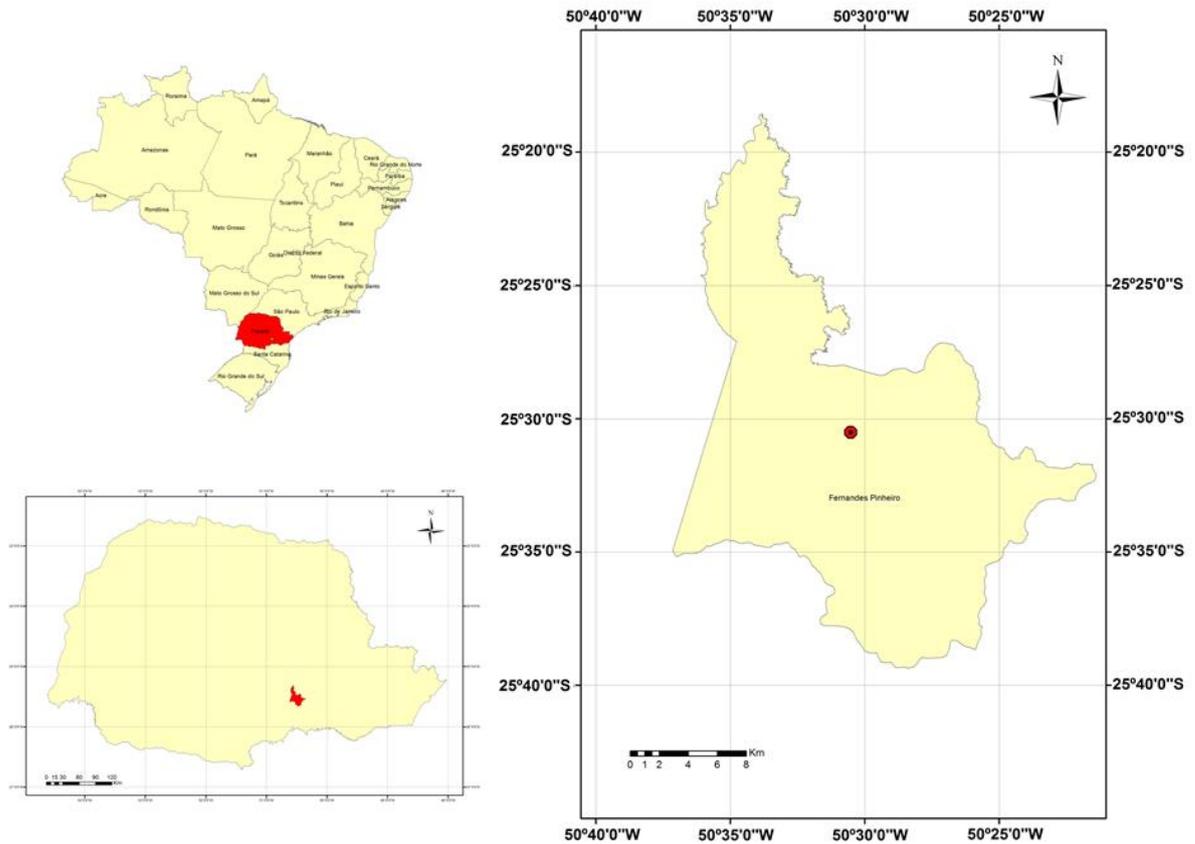
### 1.4.1 - Seleção de amostras e coleta geral de dados

Os dados foram obtidos a partir do Projeto de Pesquisa e Extensão “Estratégias para o manejo florestal sustentável em pequenas propriedades rurais no Centro-Sul do Paraná - Projeto Imbituvão” para produtores rurais de Fernandes Pinheiro, Paraná.

O município de Fernandes Pinheiro localiza-se na região Centro-Sul do Paraná (25°25' S e 50°32' W), na microrregião de Prudentópolis. Faz limite com os municípios de Imbituva, Teixeira Soares, São João do Triunfo, Rebouças e Irati. A altitude média é de 893 m e o clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfb, subtropical úmido sem estação seca, precipitação média anual de 1.442 mm, com a temperatura média do mês mais quente inferior a 22 °C e a média do mês mais frio superior a 10 °C, com mais de cinco geadas por ano. A cobertura florestal original da região pertence aos grupos tipológicos floresta pluvial subtropical, em menor extensão, e floresta de pinhais (formação de Araucária), em grande maioria (CARVALHO, 1980).

O Projeto Imbituvão atua em 36 propriedades rurais com atividades voltadas principalmente ao interesse do agricultor sendo que diversas ações foram realizadas como plantio de Erva-mate e espécies madeireiras exóticas, demarcação de matrizes porta-sementes, enriquecimento de Área de Preservação Permanente, inventário florestal, dentre outras atividades. Dentro dessas ações, há uma pesquisa com níveis de intensidade de corte em fragmentos florestais para conhecer a viabilidade econômica e ambiental deste tipo de atividade em Floresta Ombrófila Mista. Para isso, os fragmentos foram contemplados com parcelas permanentes e censo florestal, com todas as árvores posicionadas em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), para acompanhamento do crescimento da floresta e parcelas controle para conhecer os impactos gerados.

Assim, alguns indivíduos de *Araucaria angustifolia* foram pré-selecionados para corte de acordo com as condições das parcelas, levando em consideração diversos fatores como classe de DAP e sexo dos indivíduos, dentre outros. Na coleta de dados geral para a presente pesquisa, utilizou-se 30 indivíduos com mais de 40 cm de DAP localizados em três hectares de Floresta Ombrófila Mista com predominância de Araucária. A localização da área está ilustrada na Figura 2.



**FIGURA 2:** LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.

#### **1.4.2 – Determinação e estimativa da biomassa da Araucária**

Após o corte dos indivíduos selecionados, os galhos que não quebraram e continuaram unidos ao tronco inerente à copa foram mensurados e suas respectivas dimensões de comprimento e circunferência a 0% do comprimento do galho (circunferência na base do galho) foram medidas.

Posteriormente, os galhos foram separados do tronco inerente à copa e então segregados a parte lenhosa das grimpas para posterior pesagem individual desses compartimentos por meio de balança digital suspensa com capacidade de 50 kg. Para cada compartimento, foram retiradas amostras para definir o teor de umidade em laboratório. Assim, ajustou-se modelos que relacionaram a massa seca individual da parte lenhosa do galho e da grimpas com o comprimento e a circunferência da base do galho.

Para os galhos quebrados com a queda da árvore, mensurou-se a circunferência do ponto de inserção do galho ao tronco inerente a copa (circunferência do nó) que corresponde a circunferência da base do galho para posterior estimativa de massa seca por meio de modelos ajustados. Ainda, com estas medidas, obteve-se também o número de galhos de cada Araucária para estimar a massa seca de galhos e grimpas de cada árvore.

Para a seleção dos melhores modelos ajustados, utilizou-se do maior valor de Coeficiente de Determinação Ajustado ( $R^2_{adj}$ ), menor valor do Erro Padrão de Estimativa ( $S_{yx}$ ), uniformidade de distribuição de resíduos. Para os galhos, ainda foram observadas a normalidade dos resíduos e homocedasticidade (variância constante) devido às equações terem sido formadas pelo processo de seleção de variáveis *stepwise* e foram observados, também, os valores de AIC para cada modelo ajustado.

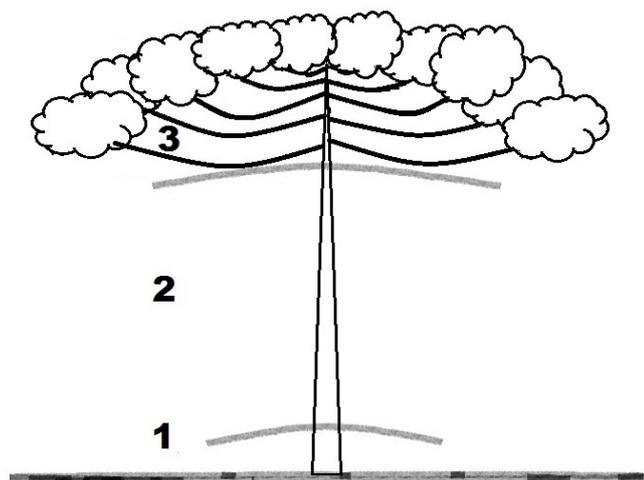
A determinação da biomassa total do fuste e do tronco inerente à copa foi realizada por meio da quantificação do volume que, em seguida foi convertido em biomassa pela densidade básica média, determinada em laboratório, por meio da cubagem da árvore. Para a determinação da densidade básica média, uma amostra em 0%, 50% e 100% da altura comercial foi retirada e, para o tronco inerente à copa, uma amostra a 50% do comprimento de copa, de maneira que contemplasse um verticilo e um espaço entre verticilos. Estas mesmas amostras foram utilizadas para definir o teor de umidade destes compartimentos.

Por fim, com o somatório da biomassa dos ramos foliares (grimpas) e dos galhos obteve-se a biomassa verde total dos galhos de cada árvore. Este valor somado com o encontrado no fuste e no tronco inerente à copa obteve-se a biomassa total verde da parte aérea do indivíduo que, por meio dos teores de umidade das amostras por compartimento, definiu-se a massa seca aérea total de cada indivíduo.

Após o conhecimento da massa aérea seca de cada árvore, foram testadas equações que correlacionaram variáveis independentes coletadas em campo, tais como DAP, altura total, comprimento de copa, altura comercial e raio de copa, para estimar variáveis dependentes como biomassa seca total da Araucária acima do solo, bem como biomassa parcial (fuste, galhos e grimpas).

### **1.4.3 - Estudo da flora epifítica**

Para o estudo da flora epifítica em Araucária, o forófito foi estratificado em três zonas verticais de amostragem: até 1,3 m de altura, entre 1,3 m até o início da copa e copa. Esta estratificação foi proposta por Kersten e Silva (2002) e adaptado para a morfologia da Araucária, conforme apresentado na Figura 3.



**FIGURA 3:** ESTRATIFICAÇÃO VERTICAL DO FORÓFITO EM TRÊS ZONAS DE AMOSTRAGENS. (1: Indivíduos ocorrentes até 1,3 m de altura; 2: Indivíduos ocorrentes entre 1,3 m de altura e início da copa; 3: Indivíduos ocorrentes na copa).:

Anterior ao corte das árvores de Araucária selecionadas, todas as epífitas até 1,3 m de altura no fuste foram coletadas, identificadas e registradas neste compartimento, por meio de frequência, para o estudo por zonas de amostragem vertical das epífitas da Araucária.

Após o corte, foi realizado uma varredura sobre o fuste da árvore para coleta, identificação e registro de todas as epífitas ocorrentes neste compartimento. Posterior ao seccionamento do fuste movimentou-se as toras para averiguar a ocorrência de indivíduos no fuste no sentido de queda da árvore. Este procedimento também foi realizado para o tronco inerente à copa. Finalmente, todos os galhos da árvore foram avaliados e todos os indivíduos epifíticos ocorrentes também foram identificados e registrados. Para a zona de amostragem “copa” considerou-se os indivíduos dos galhos e do tronco inerente à copa.

Com esses dados, realizou-se uma avaliação em relação à riqueza e diversidade por zonas de amostragem das epífitas e testou-se metodologias de inventário para número de indivíduos e de espécies por forófito para a análise da suficiência de amostragem.

Diversos indivíduos de epífitas vasculares coletados foram realocados em regiões adjacentes no próprio fragmento, principalmente da família Orchidaceae e Bromeliaceae. Alguns indivíduos foram levados para o Herbário da Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO (HUCO) e foram confeccionadas exsiccatas para registro no sistema.

## 1.5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIOLY, P. **Mapeamento dos remanescentes vegetais arbóreos no estado do Paraná e elaboração de um Sistema de Informações Geográficas para fins de análise ambiental no estado.** 129f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). UFPR, Curitiba, Paraná. 2013.

BARTHOLOTT, W.; SCHMIT-NEUERBURG, V.; NIEDER, J.; ENGWALD, S. Diversity and abundance of vascular epiphytes: a comparison of secondary vegetation and primary montane rain forest in the Venezuelan Andes. **Plant Ecology**, v. 152, p. 145-156. 2001.

BECKER, D. F. P.; MÜLLER, A.; SCHMITT, J. L. Influência dos forófitos *Dicksonia sellowiana* e *Araucaria angustifolia* sobre a comunidade de epífitos vasculares em Floresta com Araucária. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 45, n. 4, p. 781-790, out./dez. 2015.

BENNETT, B. C. Patchiness, diversity, and abundance relationships of vascular epiphytes, **Selbyana** v. 9, p. 70-75, 1986.

BENZING, D. H. **Vascular epiphytes.** Cambridge University Press, Cambridge. 1990. 354 p.

BIANCHI, J. S.; KERSTEN R.A. Edge effect on vascular epiphytes in a subtropical Atlantic Forest. **Acta Botanica Brasilica**. v. 28, n. 1, p. 120-126, 2014.

BOELTER, C. R.; FONSECA, C. R. Abundância, Riqueza e Composição de epífitos vasculares em Floresta com Araucária e monoculturas arbóreas. **Anais... VIII Congresso de Ecologia do Brasil**, Caxambu, Minas Gerais, Set. 2007.

BORGIO M.; SILVA S.M. Epífitos vasculares em fragmentos de Floresta Ombrófila Mista, Curitiba, Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 26, n. 3, p. 391-401. 2003.

BRENA, D. A.; SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C. A. G. Equações de volume dos galhos em espécies nativas na região de São Sepé. In: VI Congresso Florestal Estadual, Nova Prata, **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, p.827 – 834. 1988.

BUZATTO, C. R.; SEVERO, B. M. A.; WAECHTER, J. L. Composição e distribuição ecológica de epífitos vasculares na Floresta Nacional de Passo Fundo, Rio Grande do Sul. **Iheringia**, Sér. Bot., Porto Alegre, v. 63, n.2, p. 231-239, jul./dez. 2008.

CALDEIRA, M. V. W. **Determinação de biomassa e nutrientes em uma Floresta Ombrófila Mista Montana em General Carneiro, Paraná.** 176f. Tese. (Doutorado em Engenharia Florestal) UFPR, Curitiba, Paraná, 2003.

CALDEIRA, M. V. W.; WATZLAWICK, L. F.; VIEIRA, M.; BALBINOT, R.; CASTRO, K. C. Biomassa e carbono orgânico em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 4, p. 1027-1034, out-dez., 2015.

CAMPOS, J. C. C.; SILVA, J. A.; VITAL, B. R. Volume e biomassa do tronco e da copa de Eucalipto de grande porte. **Árvore**, Viçosa, MG, v. 16, n.3, p. 319-336, 1992.

CARVALHO, P.E. Levantamento florístico da região de Irati-PR (1ª aproximação). Curitiba: EMBRAPA-URPFCS, (EMBRAPA-URPFCS. **Circular Técnica**, 3). 1980.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies Arbóreas Brasileira:** Coleção Espécies Arbóreas Brasileiras, Vol. 1. Brasília: Embrapa Informações Tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2003.

- CESTARI, C. Epiphyte plants use by birds in Brazil. **Oecologia Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 4, p. 689-712, Dec. 2009.
- CHAVE, J., ANDALO, C. BROWN, S., CAIRNS, M.A., CHAMBERS, J.Q., EAMUS, D., FOLSTER, H., FROMARD, F., HIGUCHI, N., KIRA, T., LESCURE, J.P., NELSON, B.W., OGAWA, H., PUIG, H., RIERA, B.; YAMAKURA, T. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. **Oecologia**, 145: 85-99. 2005
- DEUTSCHER FORSTWIRTSCHAFTSTRAT - DFWR (2017). Conselho Florestal Alemão. Berlin, Alemanha. URL: <http://www.dfwr.de/> (Acessado em 20/01/2017).
- DIAS, A. S. **Ecologia de epífitas vasculares em uma área de Mata Atlântica do Parque Nacional da Serra dos Órgãos, Teresópolis, RJ**. 61f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). UFRRJ, Seropédica, Rio de Janeiro. 2009.
- DISLICH, R. **Florística e estrutura do componente epifítico vascular na mata da Reserva da Cidade Universitária “Armando de Salles Oliveira”, São Paulo, SP**. 175f. Dissertação (Mestrado em Ecologia). USP, São Paulo, São Paulo. 1996.
- DUARTE, M. M. **Transplante de epífitas entre Florestas Estacionais Semidecíduais para enriquecimento de florestas em processo de restauração**. 108 f. Dissertação (Mestrado em Ciências),USP, Piracicaba, São Paulo, 2013.
- GOLDEMBERG, J. Biomassa e Energia. **Quím. Nova**, v. 32, n. 3, São Paulo, SP. 2009.
- GUERRA, M. P.; SILVEIRA, V.; REIS, M. S. DOS.; SCHNEIDER, L. Exploração, manejo e conservação da araucária (*Araucaria angustifolia*). In: Simões, L. L. & Lino, C. F. (Orgs). **Sustentável Mata Atlântica: A exploração de seus recursos florestais**. Editora Senac São Paulo, São Paulo, Brasil, p.85-101. 2002.
- HIGUCHI, N.; CARVALHO JÚNIOR, J. A. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: Seminário emissão x sequestro de CO<sub>2</sub> – uma nova oportunidade de negócios para o Brasil, 1994, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro: CVRD, p. 125-145. 1994.
- HIGUCHI, N; SANTOS, J; RIBEIRO, R. J; MINETTE, L; BIOT, Y. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia Brasileira. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 28, n. 2, p.153-166, 1998.
- HUSCH, B. Tree weight relationships for White pine in southeastern New Hampshire. Univ. **New Hampshire Agric. Exp. Sta Tech. Bull.** No. 106, 1962.
- INOUE, M. T.; RODERJAN, C. V.; KUNIYOSHI, S. Y. **Projeto madeira do Paraná**. FUFPEF, Curitiba, Brasil, 260pp. 1984.
- KERSTEN, R. A.; KUNIYOSHI, Y, S; RODERJAN, C. V. Epífitas vasculares em duas formações ribeirinhas adjacentes na bacia do rio Iguazu. **Iheringia**, Sér. Bot., Porto Alegre, v. 64, n. 1, p. 33-43, jan./jun. 2009.
- KERSTEN, R. A.; SILVA, S. M. Florística e estrutura do componente epifítico vascular em Floresta Ombrófila Mista Aluvial do rio Barigüi, Paraná, Brasil. **Rev. Brasileira de Botânica**, v. 25, p.259-267, 2002.
- KLEIN, R. M. O aspecto dinâmico do pinheiro brasileiro. **Sellowia**, 12: 17-45. 1960.

- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. v. 1, 5ª edição, Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2008.
- MACHADO, M. F; GOMES, L. J; MELLO, A. A. Caracterização do consumo de lenha pela atividade cerâmica no estado de Sergipe. **Revista Floresta**, v. 40, n. 3, p.507-514. 2010.
- MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. Curitiba. 309 p. 2003.
- MACHADO, S. A.; SIQUEIRA, J. D. P. Distribuição natural de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. In: Problemas Florestais do Gênero *Araucaria*, 1979, Curitiba. **Anais**. Curitiba: IUFRO, p. 4-9. 1980.
- MATTOS, João Rodrigues de. **O Pinheiro brasileiro**. Ed. da UFSC. 700p. 2011.
- NIEVOLA, C. C.; TAMAKI, V. O resgate de plantas no trecho sul do Rodoanel Mário Covas. In: III SIMPÓSIO SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2009, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Instituto de Botânica, P. 55-60. 2009.
- 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, 2001.
- OLIVEIRA, R. R. Importância das bromélias epífitas na ciclagem de nutrientes da Floresta Atlântica. **Acta botânica brasílica**. Porto Alegre, V. 18, n. 4, p. 793-799, Out/Dez. 2004.
- RODERJAN, C. V.; KUNIYOSHI, Y.S.; GALVÃO, F. As regiões fitogeográficas do Estado do Paraná. **Acta Forestalia Brasiliensis**., Curitiba, n. 1, p. 1-6. 1993.
- SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; ZILLIOTTO, M. A. B.; GOMES, F. S. **As florestas e o carbono**. Curitiba. FUPEF/ Imprensa da UFPR. p. 119-140. 2002,
- SANQUETTA, C. R. Os números atuais da cobertura florestal do Paraná. 2003. Disponível em:  
<[http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./florestal/index.html&conteudo=./lorestal/artigos/cobertura\\_florestal.html](http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./florestal/index.html&conteudo=./lorestal/artigos/cobertura_florestal.html)>. Acesso em: dezembro de 2016.
- SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; MOGNON, F.; MAAS, G. C. B.; RODRIGUES, A. L. Estimativa de Carbono individual para *Araucaria angustifolia*. **Pesq. Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n.1, p. 1-8; jan./mar. 2014.
- SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F; CÔRTE, A. P. D; FERNANDES, L. A. V; SIQUEIRA, J. D. P. **Inventários florestais: planejamento e execução**. 2.Ed. Curitiba-PR: Multh-graphic gráfica editora, 270 p. 2009.
- SANTOS, J. dos. **Análise de modelos de regressão para estimar a fitomassa da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia Brasileira**. 121 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) UFV, Viçosa - Minas Gerais. 1996.
- SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R.; CALIL, F. N.; LOPES, V. G.; VIEIRA, M. Produção de biomassa no corte raso em plantio de *Araucaria angustifolia* (Bertol). Kuntze de 27 anos de idade em Quedas do Iguaçu, PR. **Ciência Florestal**, Santa Maria, V. 21, n.1, p. 53-62, jan-mar, 2011.
- SILVA, J. A. **Estimativa de crescimento em altura de Leucena [*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.] por meio do Modelo ARIMA**. 50 f. Dissertação (Mestrado em Biometria e Estatística) UFRPE, Recife, Pernambuco, 2008.

SILVA, H. D. **Modelos matemáticos para a estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes em plantações de *Eucalyptus grandis* Hill (ex. Maiden) em diferentes idades.** 101p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), UFPR, Curitiba, Paraná, 1996.

SILVA, R.P. **Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e secundárias na região de Manaus (AM).** 135 f. Tese (Doutorado em Ciências de Florestas Tropicais). UFAM, Manaus, Amazonas. 2007.

SOCHER, L. G.; RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F. Biomassa aérea de uma Floresta Ombrófila Mista Aluvial no município de Araucária (PR). **Floresta**, Curitiba, PR, v. 38, n. 2, abr./jun. 2008.

SWITZER, G.L; NELSON, L.E. Nutrient accumulation and cycling in Loblolly Pine (*Pinus taeda*) plantation ecosystems: The first 20 years. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison., v. 36, p. 143-147, 1972.

VISMARA, E. S. **Mensuração da biomassa e construção de modelos para construção de equações de biomassa.** 103f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais). USP, Piracicaba, São Paulo, 2009.

VOGEL, H. L. M.; SCHUMACHER, M. V.; TRUBY, P. Quantificação da biomassa em uma floresta estacional decidual em Itaara, RS, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 4. Santa Maria. P. 419 – 425. 2006.

WATZLAWICK, L. F.; SANQUETTA, C. R.; ARCE, J. E.; BALBINOT, R. Quantificação de biomassa total e carbono orgânico em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze no sul do estado do Paraná. **Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**. Curitiba, v. 1, n. 2, p. 63-68, abr./jun. 2003.

## 2 - AVALIAÇÃO E MODELAGEM DA BIOMASSA SECA DE GALHOS E GRIMPAS DE *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze

### RESUMO

O objetivo da presente pesquisa foi conhecer as dimensões de galhos de *Araucaria angustifolia* e estimar a massa seca individual destes e seus ramos foliares (grimpas) em função da circunferência da base destes galhos, do comprimento e, por fim, da combinação entre a circunferência e o comprimento, resultando assim em seis situações. Para isso, mensurou-se o comprimento e a circunferência da base de 209 galhos. Tanto para modelar a massa seca de galho quanto de grimpas, realizou-se o procedimento *stepwise*. Considerando a massa, em seu valor absoluto, como variável dependente e diversas transformações do comprimento, da circunferência e suas combinações como variáveis independentes para a seleção da forma com que essas variáveis independentes melhor se relacionavam com a massa seca. Após a elaboração do modelo, pelo *stepwise*, para cada situação, realizaram-se três transformações na variável dependente sendo: Logaritmo Neperiano, Raiz Quadrada e Box-Cox. Para a seleção do modelo mais adequado em cada situação, utilizou-se do maior  $R^2_{adj}$ , menor erro padrão de estimativa, menor valor para AIC, normalidade nos resíduos e homogeneidade da variância. Foram encontrados galhos com 42 cm de circunferência de base e 9,2 m de comprimento, evidenciando o grande porte de alguns galhos. A média da massa seca dos galhos foi de 6,47 kg e de grimpas 1,64 kg. Para a massa seca de galho, os modelos com a variável dependente transformada pelo Box-Cox foram os únicos, para as três situações, em que houve normalidade de resíduos pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e tendência a homogeneidade nas variâncias, além de melhores resultados de AIC, mas não tiveram os melhores resultados de  $R^2_{adj}$  e Syx. Os modelos sem transformação apresentaram os maiores  $R^2_{adj}$  e menores erros quando utilizado apenas o comprimento e a combinação entre comprimento e circunferência com  $R^2_{adj}$  de 0,862 a 0,954 e erros de 20,09 e 34,88%, respectivamente, mas não houve normalidade nos resíduos, homogeneidade nas variâncias e maiores resultados de AIC. Quando utilizado apenas a circunferência, o modelo com a variável dependente transformada em raiz quadrada apresentou maior  $R^2_{adj}$  (0,927) e menor erro (25,34%), mas também não houve normalidade nos resíduos e homogeneidade nas variâncias. Para a massa seca de grimpas, os modelos sem transformação na variável dependente apresentaram os melhores resultados, para as três situações com  $R^2_{adj}$  variando de 0,212 a 0,438 e Syx de 42,86 a 50,73%, porém não houve normalidade dos resíduos e homogeneidade da variância em todos os casos e AIC apresentou-se com os maiores valores. Quando utilizado apenas o comprimento para a estimativa, as três transformações na variável dependente foram suficientes para atender a normalidade dos resíduos, porém apenas o modelo com a variável dependente logaritmizada apresentou tendência a homogeneidade da variância. Para as outras duas situações, em que foi estimada a massa seca de grimpas em função apenas da circunferência e da combinação da circunferência e comprimento, os modelos em que a variável dependente foi transformada pela raiz quadrada e pelo Box-Cox apresentaram normalidade nos resíduos pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, mas nenhum modelo demonstrou tendência de homogeneidade na variância, sendo que o modelo com a transformação Box-Cox apresentou resultado mais próximo a essa homogeneidade. A circunferência possuiu maior relação com massa seca individual de galhos e grimpas que o comprimento, porém, a combinação resultou em melhores resultados. A transformação Box-Cox da variável dependente foi eficiente para a normalidade dos resíduos, porém, não houve homocedasticidade, em todas as situações.

Palavras-chave: Modelagem; Transformação de variável; Massa seca individual; Dimensões.

## ABSTRACT

The objective of this present research was to know the size of the branches of *Araucaria angustifolia* and to estimate the individual dry mass of these branches and their leaf twigs as a function of the circumference of the base of these branches, the length and, finally, the combination between the circumference and the length, resulting in six situations. For this, the length and the circumference of the base of 209 branches were measured. For both the dry mass of branches and needles, the stepwise procedure was performed, considering the mass, in its absolute value, as dependent variable and several transformations length, circumference, and their combinations as independent variables for the selection of the way in which these independent variables best correlated with dry mass. After the elaboration of the model, by stepwise, for each situation, three transformations were made in the dependent variable: Neperian Logarithm, Square Root and Box-Cox. For the selection of the most appropriate model in each situation, we used the highest  $R^2_{adj}$ , lowest AIC value, lowest standard error of estimate, normality in the residues and homogeneity of the variance. Branches with 42 cm of base circumference and 9.2 m of length were found, evidencing the large size of some branches. The average dry mass of the branches was 6.47 kg and leaf twigs, 1.64 kg. For the dry mass of the branches, the models with the dependent variable transformed by the Box-Cox were the only ones, for the three situations, where there was normality of residues by the Kolmogorv-Smirnov test, tendency to homogeneity in the variances and better results for AIC, but did not have the Better results for  $R^2_{adj}$  and Syx. The untransformed models showed the highest  $R^2_{adj}$  and minor errors when only length and the combination between length and circumference with  $R^2_{adj}$  of 0.862 and 0.954 and errors of 20.09 and 34.88% respectively were used, but there was no normality in the residues, Homogeneity in variances and highest value for AIC. When only the circumference was used, the model with the dependent variable transformed into square root showed higher  $R^2_{adj}$  (0.927) and smaller error (25.34%), but there was also no normality in the residues and homogeneity in the variances. For the dry mass of leaf twigs, the models without transformation in the dependent variable presented the best results, for the three situations with  $R^2_{adj}$  ranging between 0.212 and 0.438 and Syx between 42.86 and 50.73%, but there was no residue normality and homogeneity of variance in all cases and AIC was highest for all situations. When only length was used for the estimation, the three transformations in the dependent variable were sufficient to meet the normality of the residues, but only the model with the logarithmic dependent variable showed a tendency to homogeneity of the variance. For the other two situations, where the dry mass of leaf twigs was estimated based only on the circumference and the combination of the circumference and length, the models in which the dependent variable was transformed by the square root and the Box-Cox presented normality in the residues by Kolmogorov-Smirnov test, but no model showed a trend of homogeneity in the variance, and the model with the Box-Cox transformation presented a result closer to this homogeneity. The circumference has a higher correlation with individual dry mass of branches and leaf twigs than length, but the combination results in better results. The Box-Cox transformation of the dependent variable was efficient for the residues normality, but there was no homoscedasticity in all situations.

Keywords: Modeling; Variable transformation; Individual dry mass; Dimensions.

## 2.1 - INTRODUÇÃO

Segundo Brack e Grings (2011), a árvore jovem de *Araucaria angustifolia* possui forma piramidal, adquirindo forma de candelabro na fase adulta com ramos longos dispostos em 8 a 15 verticilos. Para Mattos (2011), a planta jovem começa a esboçar a forma piramidal do terceiro verticilo em diante. Ainda, este autor relatou que a medida que a planta vai crescendo, e a partir de um certo tamanho, vai sofrendo uma desramagem natural mais ou menos intensa, conforme se encontre na mata, no bordo desta ou no campo, sendo, neste, mais demorada formando uma copa em forma de taça nas árvores adultas. Quando um galho é sombreado pela copa acima e pelos concorrentes vizinhos, ele reduz a produção fotossintética e, com a intensidade de luz diminuindo, o galho começa a morrer dentro de pouco tempo (NUTTO e SPATHELF, 2003). Esses autores ainda completam que um crescimento rápido em diâmetro na árvore pode ser apenas sustentado com uma expansão mais rápida da copa levando a galhos mais longos e grossos para suportar a crescente massa foliar.

Então, com a queda dos galhos à medida que as plantas amadurecem, a morfologia passa pela transição entre a forma cônica (típica das coníferas) e a forma em taça, esta sendo uma das principais características da Araucária. O ciclo de vida do galho está diretamente relacionado com o ciclo biogeoquímico da floresta, pois galhos morrem e nascem durante o ciclo de vida da árvore. Mattos (2011) relatou que as grimpas de Araucária são persistentes nos galhos por volta de sete a oito anos. Lusk (2001) relata que, a longevidade dos ramos foliares de *Araucaria araucana* no Chile é de cerca de 24 anos. Em relação à longevidade galhos, não se encontrou em literatura informações pertinentes.

A resistência desses galhos são muito elevadas, como cita Mattos (2011) em um experimento em que foram aplicados cargas para conhecer a resistência de um galho de 2,8 m de comprimento, diâmetro de seis cm e massa verde de sete Kg. Esse galho quebrou-se com carga de 37 Kg após um envergamento de 1,2 m da posição normal. Esse autor descreveu que esta resistência é devido a conformação da camada de tecidos mais externos que segue uma direção em espiral, com um ângulo de abertura com cerca de 6°, e a interna, uma direção paralela de seus tecidos à do eixo central do galho.

Em se tratando do galho vivo, ainda conectado à árvore, a resistência dos galhos dá-se principalmente pela presença do nó de pinho, pois é o único ponto de apoio do galho à árvore e possui elevada densidade. Esses galhos possuem metros de comprimento e estão adaptados a resistirem rajadas de vento e tempestades, bem como outras adversidades.

Conhecer a massa individual dos galhos da Araucária pode ser útil para aprimorar estudos de ciclagem de nutrientes em Florestas com Araucária, levando em consideração a

dinâmica individual de vida de cada galho. Ainda, isto pode também ser útil para outros estudos relacionados ao risco de quedas de galhos, principalmente em áreas urbanas, onde este evento pode ocasionar problemas ao atingir benfeitorias e pessoas, acarretando prejuízos consideráveis. Para esta situação, seria mais condizente estimar a massa do galho sem necessitar a escalada da árvore utilizando então, a projeção do comprimento do galho para esta estimativa.

Não há estudos mais aprofundados para utilização desses galhos, sendo que, segundo Guerra *et al.* (2002), os galhos e refugos e especialmente o nó de pinho servem para lenha e combustível de caldeira, ou seja, são resíduos com pouca importância. Já em relação à composição, Mattos (2011) descreveu que o teor de cinzas do lenho do galho variou de 0,37 a 0,5%, valores estes considerados baixos. Para as folhas, o teor de cinzas variou de 3,46 a 4,58%. Spitzner *et al.* (1953) *apud* Mattos (2011) relataram que com um metro cúbico de galhos de pinheiro pode-se obter 20 kg de alcatrão vegetal e 17 kg de acetato de cálcio.

Uma utilização interessante para esses galhos está relacionada ao artesanato. Inicialmente, retira-se seções transversais e oblíquas dos galhos e, posteriormente é realizada uma pintura, normalmente remetendo paisagens campeiras, agregando valor e constituindo em admiráveis lembranças temáticas para a Floresta com Araucária. Ainda, Mattos (2011) relatou que as dimensões do galho podem chegar a 22 cm de diâmetro e 9,15 m de comprimento, resultando em um volume que poderia ser testado para usos específicos menos nobres em que se demanda de toras de bitolas menores, tais como produção de palitos de fósforo ou escoras.

Watzlawick (2003) considerou que em um povoamento de *Araucaria angustifolia* de 30 anos, 11,64% da massa seca total, incluindo raízes, foi proveniente de galhos vivos e 7,64% de grimpas. Então, por volta de 20% da massa total de indivíduos de Araucária correspondem a galhos e grimpas, sendo assim uma quantidade expressiva em relação ao total, enfatizando a importância de estudos mais detalhados destes compartimentos.

A utilização do método direto de quantificação (pesagem dos compartimentos) consiste em uma necessidade inicial para trabalhos via método indireto (regressão), pois para a construção do banco de dados para trabalhar com a análise de regressão, necessita-se de valores reais, obtidos a partir do método direto, para então ter resultados mais satisfatórios. A utilização contínua do método direto para quantificação de biomassa, principalmente para florestas nativas, é inviável, pois se deseja saber a biomassa da árvore viva. Assim, o método indireto apresenta-se como uma alternativa, ou seja, utilizar técnicas de análise de regressão para estimar a biomassa total da árvore ou de seus compartimentos, fazendo uso de variáveis de fácil acesso, como o DAP. Para Mello e Peternelli (2013), a análise de regressão consiste

na realização de uma análise estatística com o objetivo de verificar se há uma relação funcional entre uma variável dependente e uma ou mais variáveis independentes.

Quando não existem modelos de regressão definidos ou quando ocorrem dúvidas quanto ao ajustamento de um modelo existente aos dados, o procedimento *Stepwise* é utilizado (SCHNEIDER, 1978). Neste procedimento de regressão são reexaminados todos os passos das variáveis incorporadas ao modelo, ou seja, é verificada a precisão estatística com a inclusão de uma nova variável no modelo e a sua influência na precisão se for retirada, testando outras variáveis a serem incluídas no processo (SCHNEIDER *et al.*, 2009). Com a utilização desta metodologia para a construção de novos modelos, Silva e Bailey (1991) descreveram que nos modelos lineares, quer simples ou múltiplos, os requisitos de normalidade de erros, de independência nas observações e de variância constante são usualmente assumidos e, quando um desses requisitos é violado, o uso de transformações na variável dependente ou na(s) variável(is) independente(s) é necessário.

A família de transformações Box-Cox (BOX e COX, 1964) é amplamente utilizada, pois permite identificar a melhor transformação, com base na utilização de um valor  $\lambda$  (*lambda*) que maximize o estimador de máxima verossimilhança e minimize o resíduo (LÚCIO *et al.*, 2011). Esse método produz uma transformação da variável resposta (Y) tal que as pressuposições de homocedasticidade e normalidade dos resíduos sejam simultaneamente satisfeitas (COUTO *et al.*, 2009).

Para seleção de modelos mais adequados, além dos métodos convencionais como o Coeficiente de Determinação e Erro Padrão da Estimativa, algumas áreas da Ciência, principalmente em que os dados são oriundos de seres vivos, vêm utilizando o Critério de Informação de Akaike (AIC), pois, de acordo com Vismara (2009), o AIC é um critério de seleção que privilegia famílias de aproximação parcimoniosas mais próximas ao modelo operacional (função real inatingível).

A transformação Box-Cox é mais utilizada em experimentos agrícolas como observado nos trabalhos de Azevedo *et al.* (2016) com batata-doce, Lúcio *et al.* (2011) para pimentão e Couto *et al.* (2009) para fitomassa de frutos de abobrinha italiana.

Para estudos florestais, destacam-se os trabalhos de Silva e Bailey (1991), em estudo de modelagem volumétrica de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus grandis*, Oda-Souza *et al.* (2009), em estudo de estruturas espaciais em formações florestais e Rocha Júnior (2013) para quantificação de biomassa foliar de *Nectandra megapotamica*.

Desta forma, o presente estudo objetivou investigar a amplitude de valores de massa seca individual dos componentes lenho de galhos e grimpas de Araucárias nativas, bem como seus comprimentos e circunferências na base do galho. Ainda, selecionar as melhores

transformações com que o comprimento e a circunferência do galho se relacionam com a massa seca individual do galho e da grimpa e desenvolver modelos para estas estimativas realizando também, transformações nas variáveis dependentes (massa seca de galho e de grimpa). Assim, este capítulo foi dividido em seis situações sendo três relacionadas a massa seca do lenho do galho e três a massa seca das grimpas. Esta metodologia foi proposta pois, após o corte das árvores, a variável independente de mais fácil obtenção foi a circunferência da inserção do galho no tronco pois a maioria dos galhos quebram impossibilitando a mensuração de seus comprimentos. Em relação às árvores vivas, é possível coletar o comprimento do galho por meio de sua projeção no solo.

## 2.2 - MATERIAL E MÉTODOS

### 2.2.1 – Coleta e organização dos dados

Para a presente pesquisa, foram utilizados dados de 209 galhos provenientes de 30 indivíduos de *Araucaria angustifolia* manejados experimentalmente pelo projeto de pesquisa e extensão “Imbituvão” da Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO.

Foram selecionados apenas galhos inteiros e com grimpas, sendo que, posteriormente mensurou-se o comprimento (acompanhando a curvatura natural do galho) e a circunferência na base do galho onde ocorre a inserção ao tronco inerente à copa. Em seguida, a grimpa foi retirada e o galho seccionado para pesagem.

A grimpa de cada galho foi inserida em um saco de estopa com peso conhecido e em seguida, pesada em balança digital suspensa com capacidade de 50 kg. Para o componente lenhoso do galho, as seções de cada galho foram amarradas com uma corda e pesadas na mesma balança, obtendo-se assim a massa úmida da parte lenhosa e de grimpa de cada galho.

Para determinação do teor de umidade, foram retirados dois discos de amostra de cada galho para secagem em laboratório. Em relação à grimpa, foram retiradas amostras aleatórias entre os galhos selecionados e levadas ao laboratório para secagem.

Essas amostras foram secas em estufa com temperatura controlada de 60 °C por cerca de cinco dias ou até que a massa seca estabilizasse. Para determinar o teor de umidade da amostra, utilizou-se da seguinte fórmula:

$$TU(\%) = \frac{(Mv - Ms)}{Mv} \times 100$$

**Em que:**  $TU(\%)$  = Teor de umidade, em porcentagem;  $Mv$  = Massa da amostra verde, em gramas;  $Ms$  = Massa da amostra seca, em gramas.

O teor de umidade para a parte lenhosa do galho foi obtido individualmente pelas médias das duas amostras retiradas de cada galho enquanto que para as grimpas foi efetuada uma média geral das amostras retiradas e utilizada para todos os galhos. Finalmente, este teor de umidade foi aplicado na massa úmida obtida em campo de cada galho e suas respectivas grimpas, obtendo-se as massas secas individuais.

## 2.2.2 - Modelos testados para estimar biomassa individual de galho e grimpa

A massa seca de grimpa e de galho individual foram consideradas, separadamente, como variáveis dependentes enquanto que o comprimento do galho, a circunferência da base do galho e a combinação dessas variáveis foram consideradas como variáveis independentes.

Para conhecer as formas que as variáveis independentes mais se relacionavam com as variáveis dependentes, inicialmente elas foram transformadas e combinadas de acordo com cada situação, conforme apresentado na Tabela 1.

**TABELA 1:** TRANSFORMAÇÕES E COMBINAÇÕES DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES UTILIZADAS

Variável	Transformações e Combinações				
<b>Comp</b>	$\text{Ln}(\text{Comp})$	$\frac{1}{\text{Comp}}$	$\sqrt{\text{Comp}}$	$\text{Ln}\left(\frac{1}{\text{Comp}}\right)$	$\text{Comp}^2$
	$\text{Ln}(\text{Comp}^2)$	$\frac{1}{\text{Comp}^2}$	$\text{Ln}\left(\frac{1}{\text{Comp}^2}\right)$	$\text{Ln}(\sqrt{\text{Comp}})$	
<b>Circf</b>	$\text{Ln}(\text{Circf})$	$\frac{1}{\text{Circf}}$	$\sqrt{\text{Circf}}$	$\text{Ln}\left(\frac{1}{\text{Circf}}\right)$	$\text{Circf}^2$
	$\text{Ln}(\text{Circf}^2)$	$\frac{1}{\text{Circf}^2}$	$\text{Ln}\left(\frac{1}{\text{Circf}^2}\right)$	$\text{Ln}(\sqrt{\text{Circf}})$	
<b>Comp e Circf</b>	$\text{Comp}^2$	$\frac{1}{\text{Comp}}$	$\sqrt{\text{Comp}}$	$\text{Circf}^2$	$\frac{1}{\text{Circf}}$
	$\sqrt{\text{Circf}}$	$\text{Comp.Circf}$	$\frac{1}{\text{Comp.Circf}}$	$\sqrt{\text{Comp.Circf}}$	$(\text{Comp.Circf})^2$
	$\frac{\text{Comp}}{\text{Circf}}$	$\frac{1}{\text{Comp/Circf}}$	$\sqrt{\frac{\text{Comp}}{\text{Circf}}}$	$\left(\frac{\text{Comp}}{\text{Circf}}\right)^2$	$\frac{\text{Circf}}{\text{Comp}}$
	$\frac{1}{\text{Circf/Comp}}$	$\sqrt{\frac{\text{Circf}}{\text{Comp}}}$	$\left(\frac{\text{Circf}}{\text{Comp}}\right)^2$	$\text{Ln}(\text{Comp})$	$\text{Ln}(\text{Comp}^2)$
	$\text{Ln}\left(\frac{1}{\text{Comp}}\right)$	$\text{Ln}(\sqrt{\text{Comp}})$	$\text{Ln}(\text{Circf})$	$\text{Ln}(\text{Circf}^2)$	$\text{Ln}\left(\frac{1}{\text{Circf}}\right)$
	$\text{Ln}(\sqrt{\text{Circf}})$	$\text{Ln}(\text{Comp.Circf})$	$\text{Ln}\left(\frac{1}{\text{Comp.Circf}}\right)$	$\text{Ln}\sqrt{\text{Comp.Circf}}$	$\text{Ln}(\text{Comp.Circf}^2)$
	$\text{Ln}\left(\frac{\text{Comp}}{\text{Circf}}\right)$	$\text{Ln}\left(\frac{1}{\text{Comp/Circf}}\right)$	$\text{Ln}\left(\sqrt{\frac{\text{Comp}}{\text{Circf}}}\right)$	$\text{Ln}\left(\frac{\text{Comp}}{\text{Circf}}\right)^2$	$\text{Ln}\left(\frac{\text{Circf}}{\text{Comp}}\right)$
	$\text{Ln}\left(\frac{1}{\text{Circf/Comp}}\right)$	$\text{Ln}\left(\sqrt{\frac{\text{Circf}}{\text{Comp}}}\right)$	$\text{Ln}\left(\frac{\text{Circf}}{\text{Comp}}\right)^2$		

**Em que:** **Comp:** Comprimento do galho, em m; **Circf:** Circunferência da base do galho, em cm; Ln: Logaritmo Neperiano

Para a seleção das variáveis independentes, utilizou-se o processo *Stepwise*, adotando como critério de seleção de variáveis o Critério de Informação de Akaike (AIC) sendo que, quanto menor este valor, mais afinidade há entre as variáveis. Levou-se ainda em consideração, variáveis significativas a 0% de probabilidade de erro ( $p$ -valor  $< 0,001$ ) para que houvesse uma redução relevante na ordem do modelo.

O Critério de Informação de Akaike (AIC) é representado pela seguinte expressão:

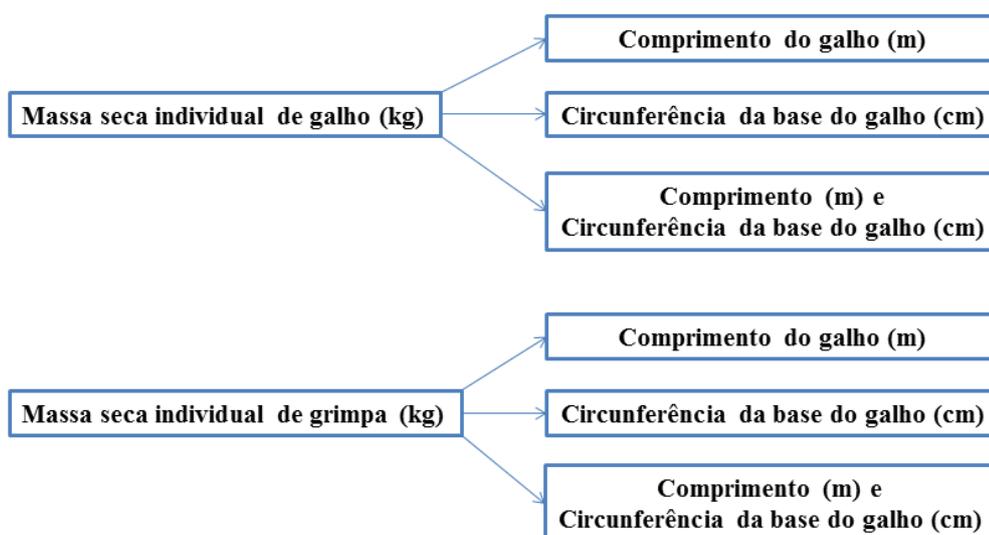
$$AIC = -2 \ln f(x/\hat{\theta}) + 2k$$

**Em que:**  $f(x/\hat{\theta})$ : função verossimilhança do modelo;  $k$ : ordem do modelo.

De acordo com Sobral e Barreto (2011), este critério dá uma pontuação para o modelo, baseado em sua adequação aos dados e na ordem do modelo sendo que, o primeiro termo é uma bonificação por uma melhor adequação aos dados e o segundo é uma penalização, que é maior à medida que se aumenta a ordem do modelo. Assim, para cada situação, foi elaborado um modelo pelo *stepwise*, sendo este modelo proveniente da seleção de variáveis pelo AIC.

Para a obtenção da função de máxima verossimilhança e dos valores de AIC, utilizou-se o pacote “MASS” para o *software* R, sendo que o valor “ $k$ ” utilizado, no *Stepwise* pelo método de AIC, foi 15. Este valor foi arbitrariamente selecionado para que houvesse a redução da ordem do modelo e, conseqüentemente, resultasse um modelo simplificado.

Para cada variável dependente (massa seca de galho e massa seca de grimpa), o processo foi realizado primeiramente apenas com variáveis independentes provenientes da transformação do comprimento, posteriormente apenas de transformações da circunferência da base do galho e, por fim, variáveis oriundas da combinação e transformação das duas, resultando em seis situações distintas, conforme apresentado na Figura 4.



**FIGURA 4:** ESQUEMA DA METODOLOGIA DO ESTUDO.

Após a formação do modelo com as variáveis selecionadas pelo *Stepwise*, efetuou-se regressão linear também com os valores da variável dependente transformadas de três formas: Logaritmo Neperiano, Raiz quadrada e transformação Box-Cox. É importante ressaltar que as duas primeiras consistem em transformações especiais da família Box-Cox, mas por tratarem de transformações mais usuais na área florestal, foram avaliadas perante o modelo sem transformação e o modelo que utilizou da transformação Box-Cox na variável dependente. A transformação Box-Cox é definida pela seguinte expressão:

$$y^{(\lambda)} = \begin{cases} \frac{y^{\lambda}-1}{\lambda} & (\lambda \neq 0) \\ \text{Log } y & (\lambda = 0) \end{cases}$$

**Em que:**  $y^{(\lambda)}$  : Valor transformado da variável;  $y$ : Valor original da variável;  $\lambda$ : Constante obtida por meio do máximo da função log-verossimilhança.

Segundo Box e Cox (1964), quando a análise de variância não muda por meio de transformações lineares dos dados, a expressão anterior pode ser escrita da seguinte forma:

$$y^{(\lambda)} = \begin{cases} y^{\lambda} & (\lambda \neq 0) \\ \text{Log } y & (\lambda = 0) \end{cases}$$

Para o presente trabalho, utilizou-se da segunda expressão pela dificuldade em normalização dos dados por meio de transformações lineares. As transformações foram realizadas para atender as premissas da regressão linear de normalidade de resíduos e homocedasticidade (homogeneidade na variância).

### 2.2.3 - Seleção de melhor modelo

Após a seleção das variáveis independentes pelo *stepwise* para elaboração do modelo com a variável dependente em seu valor absoluto e suas respectivas transformações, a seleção do melhor modelo de regressão, para cada situação, foi baseada inicialmente nos resultados do Coeficiente de Determinação Ajustado ( $R^2_{\text{adj}}$ ) e Erro Padrão da Estimativa Absoluto e Relativo ( $S_{yx}$  e  $S_{yx\%}$ ). Para os modelos em que a variável dependente foi transformada, os erros foram recalculados de acordo com a variável de interesse (kg), bem como o Índice de Schlaegel (IA). De acordo com Souza *et al.* (2013), o Índice de Schlaegel é compatível com o valor do Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ) do modelo original. As fórmulas utilizadas são apresentadas seguir.

$$IA = 1 - \frac{SQ_{Res}}{SQ_{Tot}}$$

$$R^2_{adj} = 1 - (1 - IA) \cdot \left( \frac{n-1}{n-p} \right)$$

$$S_{yx} = \sqrt{QMres}$$

$$S_{yx} \% = \frac{S_{yx}}{\bar{Y}} \times 100$$

**Em que:** *IA*: Índice de Schlaegel ou Coeficiente de Determinação; *SQ<sub>Res</sub>*: Soma dos Quadrados dos Resíduos; *SQ<sub>Tot</sub>*: Soma dos Quadrados Total; *R<sup>2</sup><sub>adj</sub>*: Coeficiente de Determinação Ajustado; *n*: número de observações; *p*: número de coeficientes do modelo; *S<sub>yx</sub>*: Erro Padrão da Estimativa Absoluto, em kg; *S<sub>yx</sub>%*: Erro Padrão da Estimativa Relativo, em porcentagem; *QMres*: Quadrado Médio do Resíduo;  $\bar{Y}$ : Valor da média observado;

Em relação aos modelos linearizados por meio do logaritmo neperiano, foi necessária a utilização do Fator de Correção de Meyer (FCM) para a correção da discrepância logarítmica anterior ao recálculo dos erros, conforme apresentado na fórmula a seguir.

$$FCM = e^{0,5 \cdot QMres}$$

**Em que:** *e*: base dos logaritmos neperianos; *QMres*: quadrado médio do resíduo da estimativa.

Dentre os quatro modelos de cada situação foram também analisados os valores para o Critério de Informação de Akaike (AIC), sendo que quanto menor o resultado, mais adequada é a equação. Ainda, foi elaborado um gráfico de dispersão de resíduos das estimativas recalculadas para verificar possível tendenciosidade nos resultados por meio das seguintes expressões:

$$Res = Y_i - \hat{Y}_i$$

$$Res\% = \frac{(Y_i - \hat{Y}_i)}{Y_i} \times 100$$

**Em que:** *Res* = Resíduo absoluto; *Res%* = Resíduo em Porcentagem; *Y<sub>i</sub>* = Valor real observado;  $\hat{Y}$  = Valor estimado.

Para a análise da normalidade dos resíduos utilizou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S), no *software* Action®, sendo que os dados dos resíduos utilizados foram os reais da regressão e não dos valores recalculados para a variável de interesse. Este teste foi utilizado para avaliar as seguintes hipóteses:

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: \text{Os dados seguem uma distribuição normal} \\ H_1: \text{Os dados não seguem uma distribuição normal} \end{array} \right.$$

A estatística utilizada para o teste é:

$$D_n = \sup_x |F(x) - F_n(x)|$$

**Em que:**  $D_n$ : Valor calculado para o teste K-S;  $\sup_x$ : Maior valor do intervalo;  $F(x)$ : Função de distribuição acumulada assumida para os dados;  $F_n(x)$ : Função de distribuição acumulada empírica dos dados.

Como o teste é para normalidade dos dados, a função  $F$  corresponde à função de distribuição normal. Neste caso, a Hipótese nula ( $H_0$ ) corresponde à igualdade entre as funções ( $F(x) = F_n(x)$ ) e a hipótese alternativa, a desigualdade entre as funções ( $F(x) \neq F_n(x)$ ).

O objetivo deste teste é rejeitar a hipótese alternativa, ou seja, aceitar a hipótese nula de forma que os valores calculados sejam inferiores aos tabelados ( $D_{crítico}$ ). Para obtenção dos valores calculados, utilizou-se as seguintes expressões, conforme descrito na tabela de valores críticos para o teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) para probabilidade de erro de 0,01 e 0,05:

$$D_{crítico_{0,01}} = \frac{1,63}{\sqrt{n}} \qquad D_{crítico_{0,05}} = \frac{1,36}{\sqrt{n}}$$

**Em que:**  $n$ : Número de observações.

Para a avaliação da homocedasticidade, ou seja, homogeneidade na variância dos resíduos, optou-se pelo método gráfico “*Scale-Location*” em que o eixo Y consiste na raiz quadrada do módulo dos resíduos padronizados e o eixo X os valores estimados. Os gráficos foram elaborados pelo *software* Excel®. Para o cálculo dos resíduos padronizados utilizou-se a seguinte expressão:

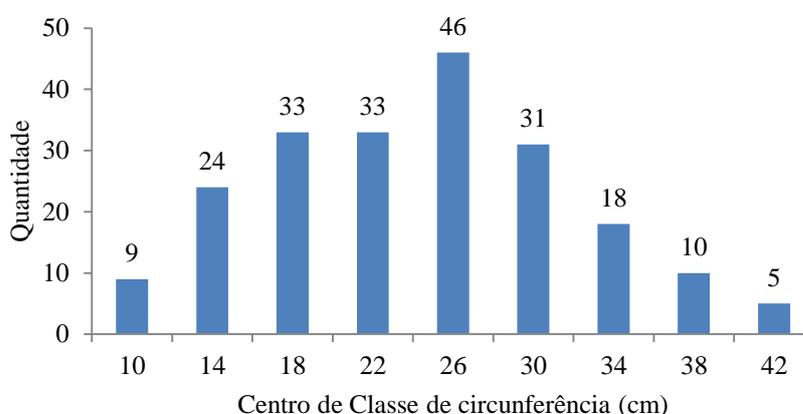
$$d = \frac{Vobs - Vest}{\sqrt{QMres}}$$

**Em que:**  $d$ : Resíduo padronizado;  $Vobs$ : Valor observado;  $Vest$ : Valor estimado;  $QMres$ : Quadrado médio do resíduo da regressão.

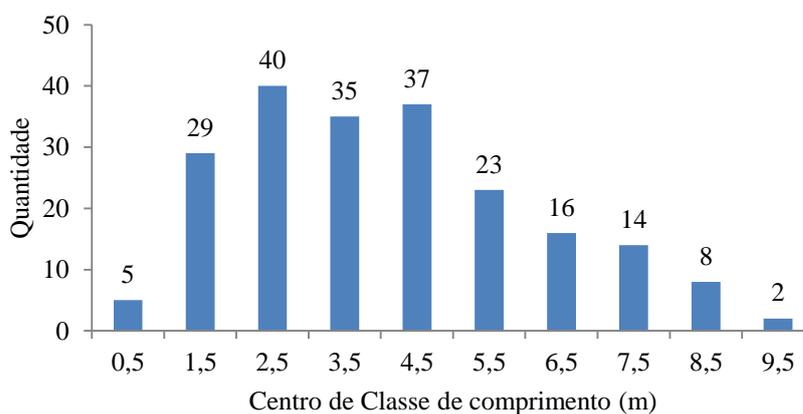
## 2.3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.3.1 – Estatísticas da amostra

No total foram avaliados 209 galhos distribuídos em 30 árvores de *Araucaria angustifolia* nativas com DAP superior a 40 cm. Dentre as 30 árvores selecionadas para o presente trabalho, em média sete galhos foram coletados para cada uma. O indivíduo que mais apresentou galhos disponíveis para a coleta de dados teve 13 galhos mensurados enquanto o que menos apresentou esta disponibilidade, dois galhos foram mensurados. A Figura 5 ilustra a quantidade de galhos coletados por classe de 4 cm de circunferência de base enquanto que a Figura 6, indica a quantidade de galhos distribuídos por classe de 1 m de comprimento.



**FIGURA 5:** QUANTIDADE DE GALHOS MENSURADOS DISTRIBUÍDOS POR CLASSES DE CIRCUNFERÊNCIA.



**FIGURA 6:** QUANTIDADE DE GALHOS MENSURADOS DISTRIBUÍDOS POR CLASSES DE COMPRIMENTO.

O galho de maior dimensão na circunferência de base apresentou 42 cm, porém este não foi o de maior dimensão no comprimento, apresentando 8,6 m de comprimento. O maior galho em comprimento (9,2 m) apresentou circunferência de 33,2 cm. Já o galho que teve a menor dimensão em relação à circunferência (8,2 cm) também obteve o menor comprimento

(55 cm). As estatísticas descritivas relacionadas ao comprimento do galho, circunferência e diâmetro na base do galho são apresentadas na Tabela 2.

Nutto (2001) citou que a expansão máxima da copa de uma árvore em certo tempo é determinada pelos recursos naturais que o sítio oferece para o crescimento. Esta pode ser uma explicação para o maior galho em comprimento não ser também em circunferência, pois talvez o galho tivesse melhores condições para sua expansão.

**TABELA 2:** ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DO COMPRIMENTO, CIRCUNFERÊNCIA E DIÂMETRO DOS GALHOS AVALIADOS.

<b>Estatística</b>	<b>Comp (m)</b>	<b>Circf (cm)</b>	<b>Diam (cm)</b>
<b>Média</b>	4,06	24,04	7,65
<b>Máximo</b>	9,20	42,00	13,37
<b>Mínimo</b>	0,55	8,20	2,61
<b>s</b>	2,02	7,54	2,40
<b>CV (%)</b>	49,87	31,36	31,36
<b>IC (95%)</b>	± 0,28	± 1,03	± 0,33

**Em que:** **Comp:** Comprimento do galho, em m; **Circf:** Circunferência a 0% do comprimento do galho, em cm; **Diam:** Diâmetro a 0% do comprimento do galho, em cm; **s:** Desvio padrão; **CV:** Coeficiente de variação; **IC:** Intervalo de confiança para a média com 5% de probabilidade de erro.

Em relação às massas dos galhos avaliados, houve grande variação entre os valores devido aos galhos mais próximos do topo da árvore (menores dimensões) serem formados por tecidos mais jovens e menos densos por possuírem pouco material lenhoso. O galho mais leve avaliado em massa verde teve apenas 125 g, enquanto o mais pesado 58,9 kg. Esta amplitude nos valores acarretou, para massa verde e massa seca, em elevados valores para o Coeficiente de Variação.

Para as grimpas, o galho de menor massa seca apresentou 56 g, enquanto o galho com maior massa de grimpas seca apresentou 5,43 kg. Estes dados também possuem elevada amplitude proporcional, acarretando em Coeficientes de Variação elevados. As principais estatísticas descritivas relacionadas às massas dos galhos e grimpas são apresentadas na Tabela 3.

**TABELA 3:** ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DA MASSA VERDE, MASSA SECA E TEOR DE UMIDADE DOS GALHOS E DAS GRIMPAS

<b>Estatística</b>	<b>Galhos</b>			<b>Grimpas</b>		
	<b>Mv (kg)</b>	<b>Ms (kg)</b>	<b>TU (%)</b>	<b>Mv (kg)</b>	<b>Ms (kg)</b>	<b>TU (%)</b>
<b>Média</b>	13,798	6,473	53,37	3,745	1,644	56,31
<b>Máximo</b>	58,885	28,669	57,82	10,450	5,431	66,67
<b>Mínimo</b>	0,125	0,056	43,75	0,135	0,056	47,73
<b>s</b>	12,829	6,085	2,98	2,003	0,940	4,75
<b>CV (%)</b>	92,976	94,004	5,59	53,483	57,161	8,43
<b>IC (95%)</b>	± 1,749	± 0,83	± 1,11	± 0,273	± 0,128	± 1,77

**Em que:** **Mv:** Massa verde, em Kg; **Ms:** Massa seca, em Kg; **TU:** Teor de Umidade na massa verde; **s:** Desvio padrão; **CV:** Coeficiente de variação; **IC:** Intervalo de confiança para a média com 5% de probabilidade de erro.

### 2.3.2 - Massa seca de galho em função do comprimento do galho

De acordo com o processo de seleção de variáveis *Stepwise*, duas variáveis independentes foram significativas para explicar a massa seca do galho em função de seu comprimento, sendo elas o comprimento sem transformação e a raiz quadrada do comprimento. O modelo formado pelo *Stepwise* e os modelos em que a variável dependente foi transformada para avaliação são apresentados na Tabela 4.

**TABELA 4:** MODELOS AVALIADOS PARA ESTIMATIVA DA MASSA SECA DE GALHO EM FUNÇÃO DO COMPRIMENTO DO GALHO

Modelos	
1*	$MSGa = \beta_0 + \beta_1.Comp + \beta_2.\sqrt{Comp}$
2**	$Ln(MSGa) = \beta_0 + \beta_1.Comp + \beta_2.\sqrt{Comp}$
3**	$\sqrt{MSGa} = \beta_0 + \beta_1.Comp + \beta_2.\sqrt{Comp}$
4**	$MSGa^\lambda = \beta_0 + \beta_1.Comp + \beta_2.\sqrt{Comp}$

**Em que:** \*: Modelo selecionado pelo processo *stepwise*; \*\*: Modelos com a variável dependente transformada; *MSGa*: Massa seca do galho, em kg; *Comp*: Comprimento do galho, em m;  $\lambda$ : Constante proveniente da transformação Box-Cox; *Ln*: Logaritmo Neperiano;  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$ : Coeficientes ajustados para os modelos.

Após a transformação da variável dependente nos modelos e seus respectivos ajustes, as variáveis independentes mantiveram-se significativas de acordo com o nível de significância de 1% (p-valor < 0,01), portanto foram mantidas.

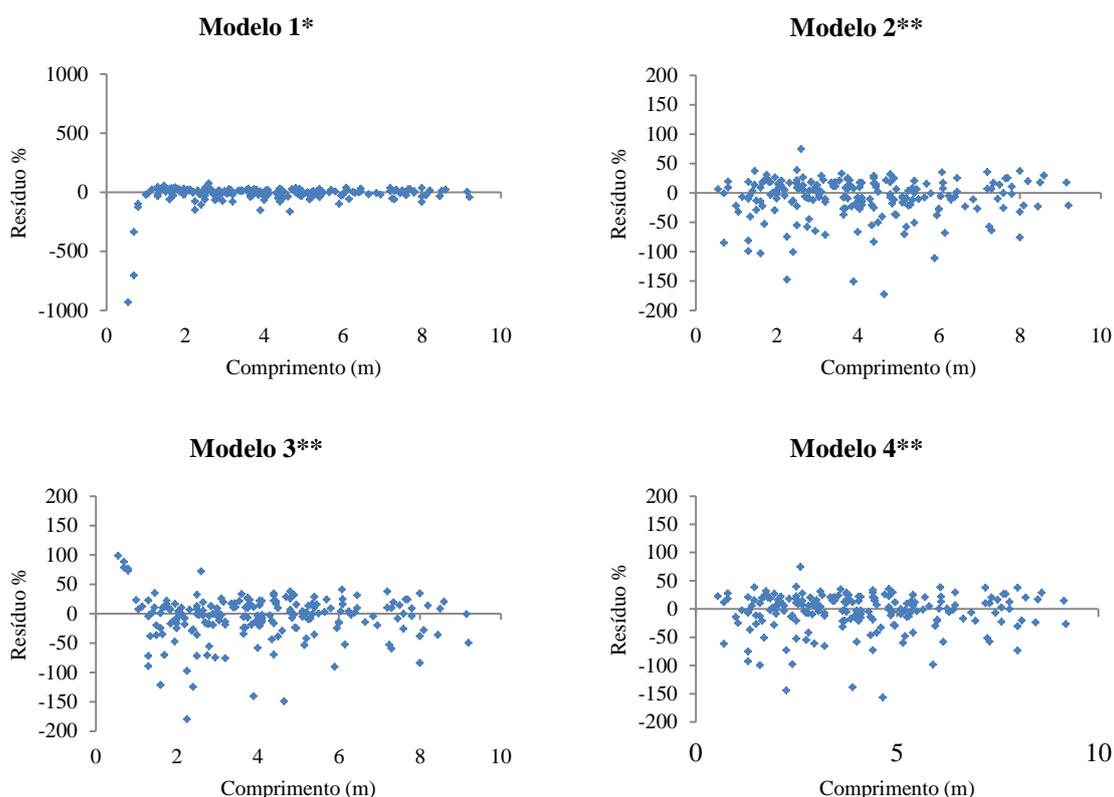
**TABELA 5:** COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DOS MODELOS AJUSTADOS

Modelo	Coeficientes			$R^2_{adj}$	Estatísticas			
	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$		Syx (kg)	Syx (%)	AIC	$\lambda$
1	6,5231 **	5,8033 **	-12,1132 **	0,862	2,257	34,88	938,4	-
2	-6,8314 **	-0,9952 **	6,2374 **	0,859	2,283	35,27	87,4	-
3	-0,9498 **	0,3031 **	1,0137 **	0,860	2,277	35,17	153,8	-
4	0,6033 **	-0,0525 **	0,3560 **	0,860	2,273	35,11	-1057,0	0,0606

**Em que:** \*\*: Coeficiente significativo a 1% de probabilidade de erro (p < 0,01);  $R^2_{adj}$ : Coeficiente de Determinação Ajustado; **Syx (kg)**: Erro padrão da estimativa absoluto, em kg; **Syx (%)**: Erro padrão da estimativa relativo, em porcentagem;  $\lambda$ : Valor obtido pela transformação Box-Cox; **AIC**: Critério de Informação de Akaike.

Em relação à qualidade do ajuste, houve uma sutil superioridade no modelo original em que o  $R^2_{adj}$  foi de 0,862 e o Syx de 34,88%. Em contrapartida, o modelo com a variável dependente logaritmizada apresentou resultados levemente inferiores com 0,859 de para o  $R^2_{adj}$  e 35,27% de Erro padrão da estimativa. Porém, ao comparar o Modelo 1 com os três modelos transformados, essa melhora não foi relevante, pois o acréscimo na qualidade do ajuste não atinge 1%. É possível confirmar essa irrelevância ao analisar a diferença entre os valores de AIC em que o Modelo 1 apresentou valores muito superiores aos demais sendo que o modelo proveniente da transformação Box-Cox teve resultado de -1.057,0 evidenciando a melhor adequação aos dados, conforme é apresentado na Tabela 5.

Levando em consideração a homogeneidade na distribuição de resíduos, os melhores modelos foram aqueles em que a variável dependente foi transformada pelo método Box-Cox e logaritmização. Para ambos modelos, os resíduos distribuíram-se de forma similar com leve tendência a superestimação dos valores ao longo de toda a amplitude dos valores. O modelo original (Modelo 1) apresentou resíduos muito elevados para os galhos de menor comprimento, sendo representado na Figura 7 em outra escala.



\*: Escala diferente devido a resíduos muito elevados nas baixas amplitudes.

\*\* : Para valores recalculados.

**FIGURA 7:** DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS DAS ESTIMATIVAS DA MASSA SECA DE GALHO.

O teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov (K-S) para os resíduos da regressão indicou que apenas o Modelo 4 proveniente da transformação Box-Cox da variável dependente apresentou evidente normalidade a 1% de significância. Os Modelo 2 e 3 apresentaram os valores calculados inferiores ao valor tabelado, classificando-os como “não significativos” por este critério e aceitando a hipótese nula de que os dados comportam-se de forma normal. Porém, de acordo com a significância do teste (p-valor), o valor encontrado foi inferior a 0,01 enquadrando o teste como significativo a 1% de probabilidade de erro e, assim, aceitando a hipótese alternativa de que os dados podem não ser normais. Estes resultados podem ser devido aos valores calculados (Dn) serem próximos aos valores tabelados (Dcrítico), conforme apresentado na Tabela 6.

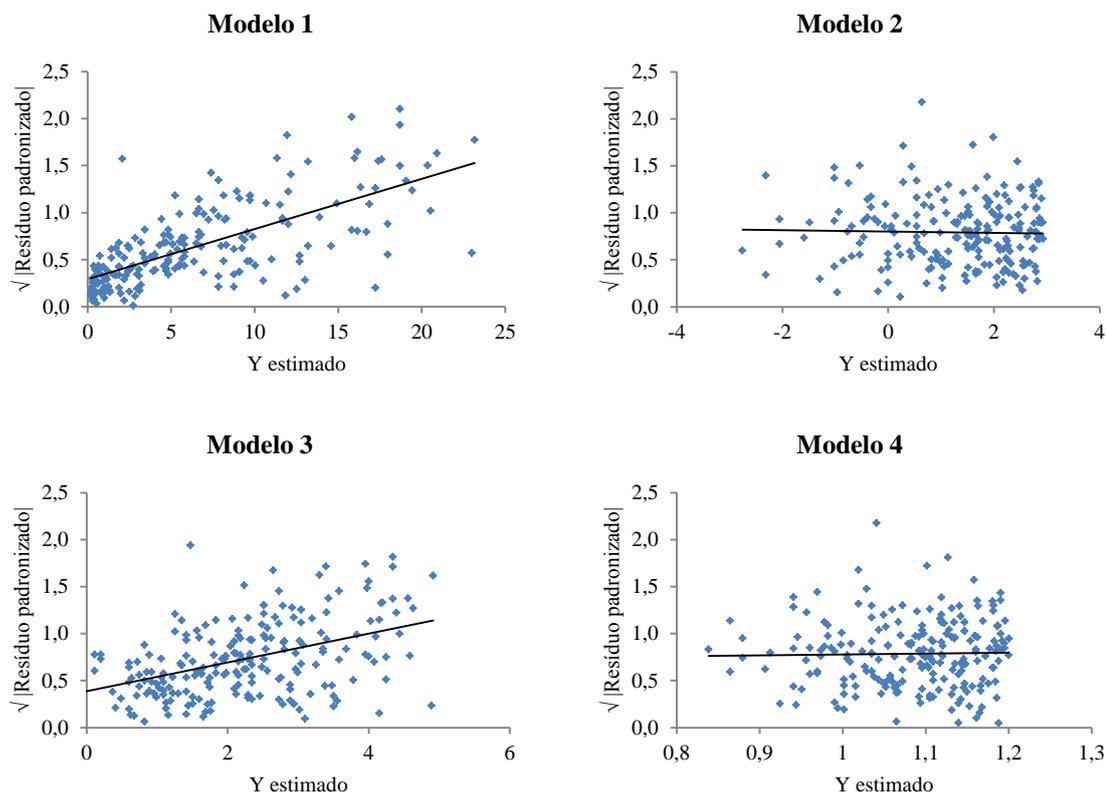
**TABELA 6:** ESTATÍSTICAS DO TESTE DE NORMALIDADE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV (K-S) PARA OS RESÍDUOS DOS MODELOS AJUSTADOS

Modelos	Dcrítico 1%	Dcrítico 5%	Dn	p-valor
1	0,1127	0,094	0,1653**	0,0000**
2	0,1127	0,094	0,0748 <sup>ns</sup>	0,0064**
3	0,1127	0,094	0,0925 <sup>ns</sup>	0,0002**
4	0,1127	0,094	0,0705 <sup>ns</sup>	0,0134 <sup>ns</sup>

**Em que:** \*\*: Significativo a 1% de probabilidade de erro; <sup>ns</sup>: Não significativo; **Dcrítico 1%:** Valor tabelado do teste K-S para  $\alpha = 0,01$  e  $n = 209$ ; **Dcrítico 5%:** Valor tabelado do teste K-S para  $\alpha = 0,05$  e  $n = 209$ ; **Dn:** Valor calculado do teste K-S; **p-valor:** significância do resultado.

Em relação a homocedasticidade dos resíduos, o modelo que apresentou os melhores resultados foi o Modelo 4, pois a linha de tendência configurou-se de forma horizontal em relação ao eixo X na Figura 8. O Modelo 2 apresentou uma leve tendência em reduzir a variância ao longo da amplitude dos dados e, os Modelos 1 e 3 apresentaram forte tendência em elevar a variância na medida em que os dados aumentam, conforme apresentado na Figura 8.

Dentre os modelos testados para estimar a massa seca de galho em função apenas do comprimento, o Modelo 4 proveniente da transformação Box-Cox da variável dependente foi o mais adequado, apesar de apresentar qualidade do ajuste um pouco inferior e erro sutilmente superior, o resultado para AIC apresentou o melhor resultado. Esse modelo, também, é o único que se enquadrou nas premissas da regressão linear de normalidade de resíduos e homogeneidade das variâncias de resíduos (homocedasticidade).



**FIGURA 8:** GRÁFICOS “SCALE-LOCATION” PARA OS QUATRO MODELOS AVALIADOS.

### 2.3.3 - Massa seca de galho em função da circunferência da base do galho

Para as estimativas da massa seca de galho apenas pela circunferência da base do galho, ou seja, circunferência no ponto de incisão do galho no tronco inerente a copa (circunferência do “nó”), o processo de seleção de variáveis *Stepwise* utilizando o Critério de Informação de Akaike (AIC) indicou que duas variáveis independentes foram significativas para explicar a massa seca do galho, sendo elas o Logaritmo Neperiano da Circunferência de base elevada ao quadrado e a raiz quadrada da circunferência da base do galho. Os modelos avaliados para o ajuste da massa seca do galho em função da circunferência são apresentados na Tabela 7.

Para o Modelo 4, o coeficiente  $\beta_2$  relacionado à variável independente “ $\sqrt{Circf}$ ” não foi significativo para o ajuste da regressão linear dessa forma, foi retirada do modelo, reajustando-o novamente sem esta variável. Nos Modelos 2 e 3, os coeficientes, mantiveram-se significativos de acordo com o nível de significância de 1% (p-valor < 0,01), portanto foram mantidos.

**TABELA 7: MODELOS AVALIADOS PARA ESTIMATIVA DA MASSA SECA DE GALHO EM FUNÇÃO DA CIRCUNFERÊNCIA DA BASE DO GALHO**

Modelos	
1*	$MSGa = \beta_0 + \beta_1.Ln(Circf^2) + \beta_2.\sqrt{Circf}$
2**	$Ln(MSGa) = \beta_0 + \beta_1.Ln(Circf^2) + \beta_2.\sqrt{Circf}$
3**	$\sqrt{MSGa} = \beta_0 + \beta_1.Ln(Circf^2) + \beta_2.\sqrt{Circf}$
4**	$MSGa^\lambda = \beta_0 + \beta_1.Ln(Circf^2) + \beta_2.\sqrt{Circf}$

**Em que:** \*: Modelo selecionado pelo processo *stepwise*; \*\*: Modelos com a variável dependente transformada; *MSGa*: Massa seca do galho, em kg; *Circf*: Circunferência da base do galho, em cm;  $\lambda$ : Constante proveniente da transformação Box-Cox; *Ln*: Logaritmo Neperiano;  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$ : Coeficientes ajustados para os modelos.

Diferentemente do ajuste da massa seca de galho em função do comprimento do galho, o modelo que apresentou os melhores resultados foi o Modelo 3 em que a variável dependente foi a transformação do valor original por meio da raiz quadrada com valor de 0,927 para o  $R^2_{adj}$  e 25,34% de erro. Porém, este modelo apresentou o intercepto não significativo, mas apesar disso, foi mantido no ajuste. O Modelo 1 com os valores originais foi o que apresentou os resultados menos satisfatórios, inclusive para AIC, porém com valores pouco discrepantes em relação aos demais modelos. O modelo proveniente da transformação Box-Cox novamente apresentou o melhor resultado para AIC (-587,2) seguido do modelo 2 em que a variável dependente foi logaritimizada (14,1), conforme apresentado na Tabela 8.

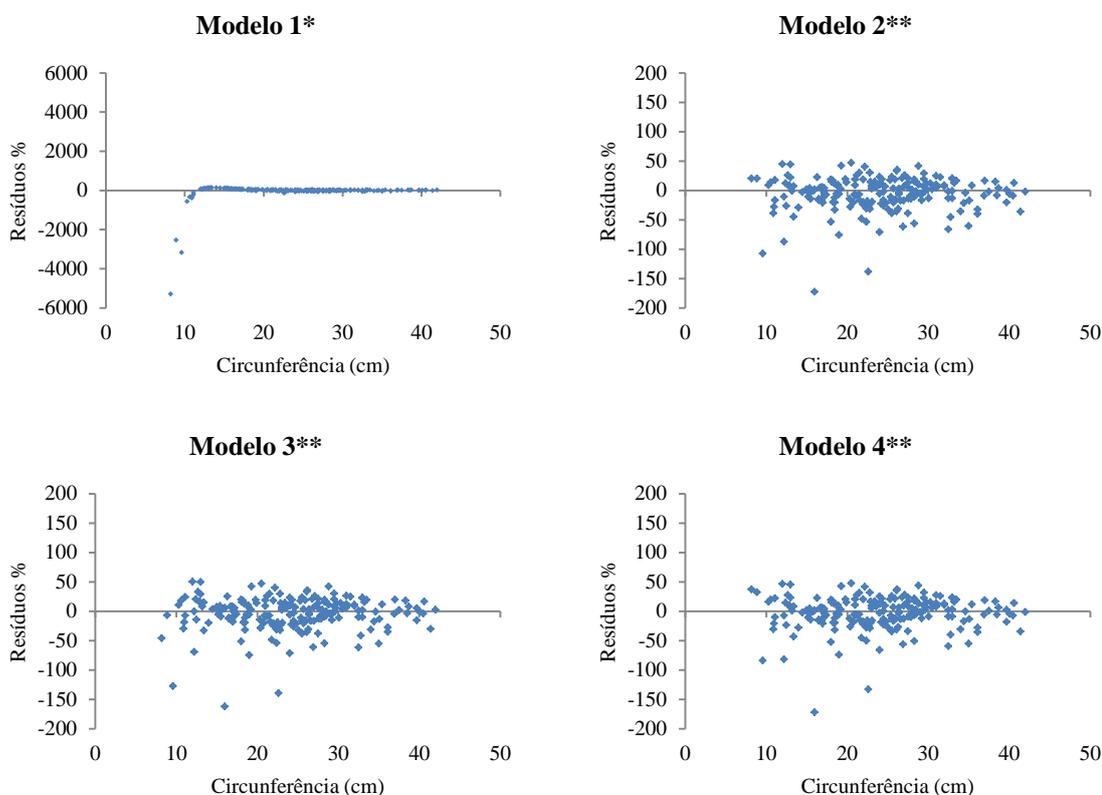
**TABELA 8: COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DOS MODELOS AJUSTADOS**

Modelo	Coeficientes			$R^2_{adj}$	Estatísticas			
	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$		Syx (kg)	Syx (%)	AIC	$\lambda$
1	39,6047 **	-31,7568 **	34,1738 **	0,917	1,750	27,03	803,7	-
2	-12,8408 **	3,1046 **	-1,0926 **	0,925	1,668	25,77	14,1	-
3	0,8758 ns	-2,6879 **	3,7567 **	0,927	1,640	25,34	54,0	-
4	-0,1274 **	0,2039 **	-	0,925	1,666	25,74	-587,2	0,1010

**Em que:** \*\*: Coeficiente significativo a 1% de probabilidade de erro ( $p < 0,01$ ); ns: Coeficiente não significativo;  $R^2_{adj}$ : Coeficiente de Determinação Ajustado; Syx (kg): Erro padrão da estimativa absoluto, em kg; Syx (%): Erro padrão da estimativa relativo, em porcentagem,  $\lambda$ : Valor obtido pela transformação Box-Cox; AIC: Critério de Informação de Akaike.

Em relação à distribuição dos resíduos, os Modelos 2, 3 e 4 apresentaram-se muito semelhantes na homogeneidade sendo que o Modelo 3 apresentou pequena diferença para os

dados de menor amplitude em relação aos Modelo 3 e 4. O Modelo 1 apresentou resíduos muito elevados (próximo a -6000%) para os dados de menor amplitude e então foi ilustrado em escala diferente aos demais conforme apresentado na Figura 8.



\*: Escala diferente devido a resíduos muito elevados nas baixas amplitudes.

\*\* : Para valores recalculados.

**FIGURA 9: DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS DAS ESTIMATIVAS DA MASSA SECA DO GALHO.**

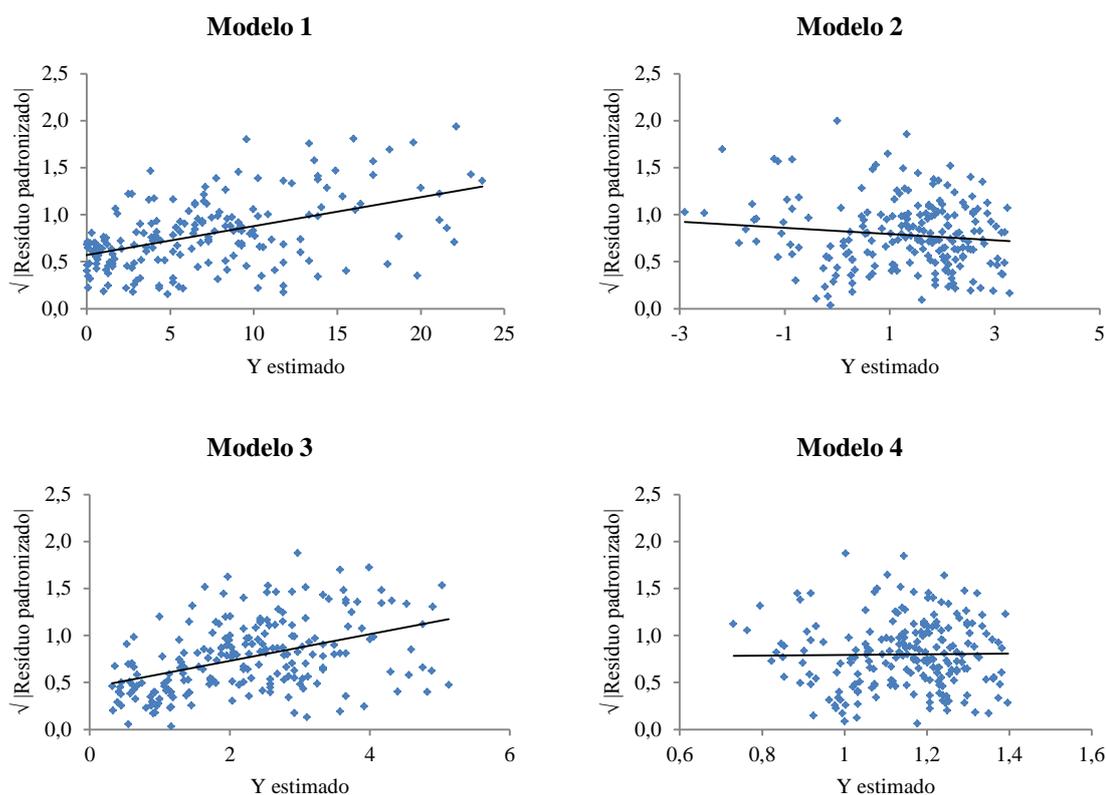
Para as estimativas da massa seca do galho em função somente da circunferência da base do galho, o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov (K-S) para os resíduos indicou que os Modelos 2 e 4 apresentaram normalidade a 1% de significância. O Modelo 3, o qual obteve os melhores resultados na qualidade do ajuste, apresentou o p-valor inferior a 0,01, ou seja, os resíduos podem não possuir um comportamento normal. Para o Modelo 1, os resultados foram ainda mais significativos para a não normalidade dos resíduos. Os resultados do teste de normalidade de K-S para os resíduos são apresentados na Tabela 9.

**TABELA 9:** ESTATÍSTICAS DO TESTE DE NORMALIDADE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV (K-S) PARA OS RESÍDUOS DOS MODELOS AJUSTADOS

Modelos	Dcrítico 1%	Dcrítico 5%	Dn	p-valor
1	0,1127	0,094	0,1284**	0,0000**
2	0,1127	0,094	0,0592 <sup>ns</sup>	0,0721 <sup>ns</sup>
3	0,1127	0,094	0,0726 <sup>ns</sup>	0,0093**
4	0,1127	0,094	0,0496 <sup>ns</sup>	0,2403 <sup>ns</sup>

**Em que:** \*\*: Significativo a 1% de probabilidade de erro; <sup>ns</sup>: Não significativo; **Dcrítico 1%:** Valor tabelado do teste K-S para  $\alpha = 0,01$  e  $n = 209$ ; **Dcrítico 5%:** Valor tabelado do teste K-S para  $\alpha = 0,05$  e  $n = 209$ ; **Dn:** Valor calculado do teste K-S; **p-valor:** significância do resultado.

O método gráfico “*Scale-location*” para verificar homocedasticidade da regressão indicou que o Modelo 4 proveniente da transformação Box-Cox da variável dependente foi o único que apresentou tendência a homogeneidade na variância. As tendências para os Modelos 1, 2 e 3 seguem as mesmas encontradas para as estimativas da massa seca do galho em função de seu comprimento, ou seja, os Modelos 1 e 3 tenderam a aumentar a variância na medida que aumentaram os dados e o Modelo 2 tendeu a reduzir a variância na medida que os valores dos dados foram elevados, conforme ilustrado na Figura 10.



**FIGURA 10:** GRÁFICOS “SCALE-LOCATION” PARA OS QUATRO MODELOS AVALIADOS.

Para os quatro modelos testados para as estimativas da massa seca de galho em função apenas da circunferência da base do galho, o mais adequado foi o Modelo 4 por apresentar homogeneidade da variância (homocedasticidade) ao longo da amplitude de dados e a

normalidade dos resíduos. Apesar da qualidade do ajuste do Modelo 4 ser inferior aos valores obtidos do Modelo 3, a magnitude desta inferioridade é desprezível, pois trata-se de menos de 0,5% além de que o valor de AIC foi menor, demonstrando melhor adequação aos dados.

### 2.3.4 - Massa seca de galho em função do comprimento e da circunferência da base do galho

Finalmente, em relação às estimativas da massa seca de galho em função da combinação do comprimento e da circunferência da base do galho, o processo de seleção de variáveis *Stepwise* indicou que três variáveis independentes apresentaram maior relação para esta estimativa, sendo uma proveniente da transformação do comprimento, outra da transformação da circunferência e outra do produto do comprimento e circunferência. Os modelos testados para o ajuste da massa seca do galho em função do comprimento e da circunferência a 0% do comprimento estão demonstrados na Tabela 10.

O Modelo 4, proveniente da transformação Box-Cox, indicou que o coeficiente relacionado a variável independente “(Comp.Circf)” não foi significativo para o ajuste da equação de regressão linear, sendo então retirada do modelo e, assim, o modelo foi reajustado sem esta variável. Os Modelos 2 e 3, mantiveram-se na mesma conformação do modelo original pelo fato de todos os coeficientes serem significativas a 1% (p-valor < 0,01), com exceção do coeficiente  $\beta_1$  do Modelo 3 ( $Comp^2$ ) a qual apresentou significância a nível de 5% de probabilidade de erro (p-valor < 0,05), porém foi mantido no modelo.

**TABELA 10:** MODELOS AVALIADOS PARA ESTIMATIVA DA MASSA SECA DE GALHO EM FUNÇÃO DO COMPRIMENTO DA CIRCUNFERÊNCIA DA BASE DO GALHO

Modelos	
1*	$MSGa = \beta_0 + \beta_1.Comp^2 + \beta_2.Ln(Circf^2) + \beta_3.(Comp.Circf)$
2**	$Ln(MSGa) = \beta_0 + \beta_1.Comp^2 + \beta_2.Ln(Circf^2) + \beta_3.(Comp.Circf)$
3**	$\sqrt{MSGa} = \beta_0 + \beta_1.Comp^2 + \beta_2.Ln(Circf^2) + \beta_3.(Comp.Circf)$
4**	$MSGa^\lambda = \beta_0 + \beta_1.Comp^2 + \beta_2.Ln(Circf^2) + \beta_3.(Comp.Circf)$

**Em que:** \*: Modelo selecionado pelo processo *stepwise*; \*\*: Modelos com a variável dependente transformada; **MSGa**: Massa seca do galho, em kg; **Comp**: Comprimento do galho, em m; **Circf**: Circunferência a 0% do comprimento do galho, em cm;  $\lambda$ : Constante proveniente da transformação Box-Cox; **Ln**: Logaritmo Neperiano;  $\beta_0, \beta_1, \beta_2$  e  $\beta_3$ : Coeficientes ajustados para os modelos.

De acordo com a Tabela 11, que apresenta a qualidade dos ajustes das equações, os resultados mais satisfatórios foram para o Modelo 1 que é o modelo com a variável dependente original com  $R^2_{adj}$  de 0,954 e erro de 20,09%. Porém, os Modelos 3 e 4

apresentaram resultados semelhantes ao Modelo 1. O Modelo 2 apresentou os piores valores ( $R^2_{adj}$  de 0,927 e Syx de 25,31%), sendo este proveniente da transformação da variável dependente por meio da linearização. Em relação ao AIC, novamente a transformação Box-Cox demonstrou-se eficiente com resultado de -572,8 para este quesito, muito inferior aos demais.

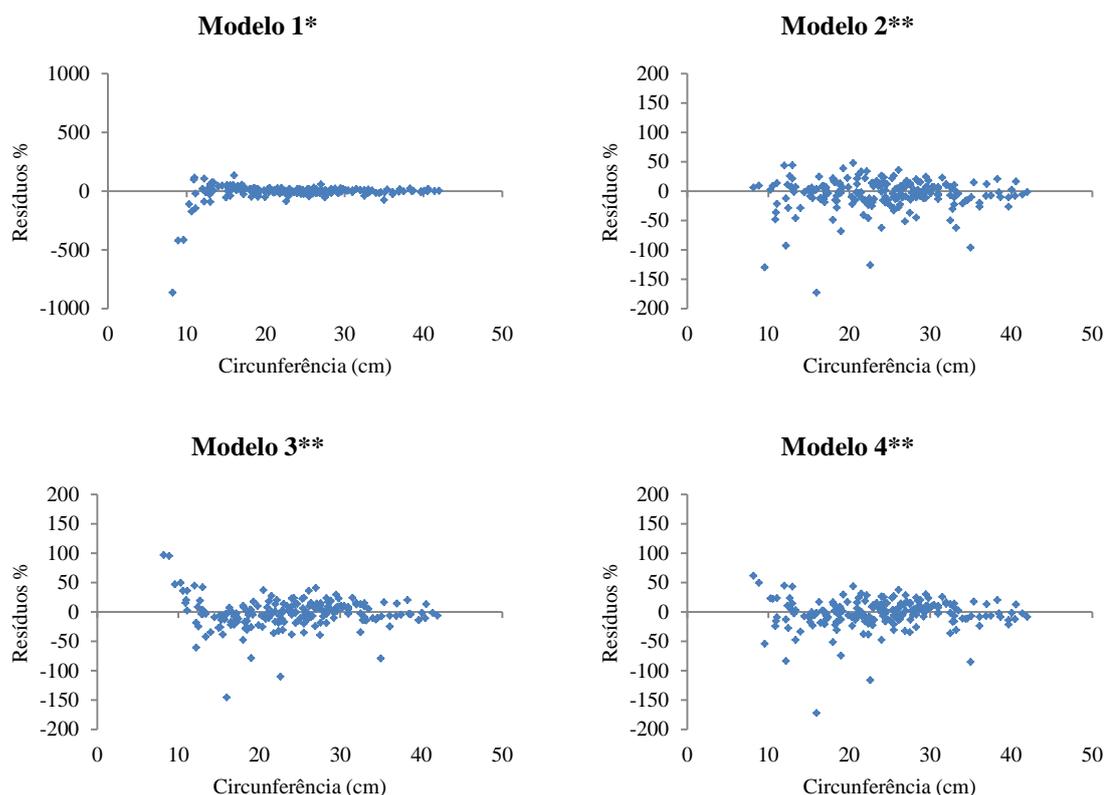
**TABELA 11: COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DOS MODELOS AJUSTADOS**

Modelo	Coeficientes				Estatísticas				
	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$R^2_{adj}$	Syx (kg)	Syx (%)	AIC	$\lambda$
1	8,8313 **	-0,2226 **	-2,0659 **	0,1357 **	0,954	1,300	20,09	708,8	-
2	-11,7258 **	0,0364 **	2,1440 **	-0,0103 **	0,927	1,639	25,31	-17,3	-
3	-2,7246 **	-0,0105 *	0,6244 **	0,0116 **	0,953	1,320	20,39	-49,7	-
4	-1,2877 **	0,0043 **	0,4125 **	-	0,946	1,420	21,94	-572,8	0,2222

**Em que:** \*\*: Coeficiente significativo a 1% de probabilidade de erro ( $p < 0,01$ ); \*: Coeficiente significativo a 5% de probabilidade de erro ( $p < 0,05$ );  $R^2$ : Coeficiente de Determinação;  $R^2_{adj}$ : Coeficiente de Determinação Ajustado; Syx (kg): Erro padrão da estimativa absoluto, em kg; Syx (%): Erro padrão da estimativa relativo, em porcentagem,  $\lambda$ : Valor obtido pela transformação Box-Cox; AIC: Critério de Informação de Akaike.

A distribuição dos resíduos para cada modelo é apresentada na Figura 11 sendo que o Modelo 1 apresentou resíduos próximo a -1000% para as menores dimensões de circunferência enquadrando o gráfico em outra escala. O Modelo 3 apresentou tendência a subestimação dos valores de massa seca do galho para as menores dimensões de circunferência. Os Modelos 2 e 4 foram os que demonstraram a maior homogeneidade de resíduos ao longo de toda amplitude dos dados com alguns poucos dados com tendência a superestimação dos valores ao longo de toda amplitude.

Assim como o ajuste para massa seca do galho em função do comprimento do galho, o único modelo que apresentou p-valor  $> 0,01$  para o teste de normalidade de K-S, foi o Modelo 4 indicando que foi o único com normalidade nos resíduos, ou seja, o modelo mais adequado para os dados utilizando como variáveis independentes o comprimento e a circunferência, bem como a combinação destas. Os resultados são demonstrados na Tabela 12.



\*: Escala diferente devido a resíduos muito elevados nas baixas amplitudes;

\*\* : Para valores recalculados.

**FIGURA 11:** DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS DAS ESTIMATIVAS DA MASSA SECA DE GALHO.

Levando em consideração a variância dos dados, o modelo que apresentou resultados mais próximos da homocedasticidade foi o Modelo 4 com uma leve tendência a aumentar a variância na medida em a variável y e estimada aumenta.

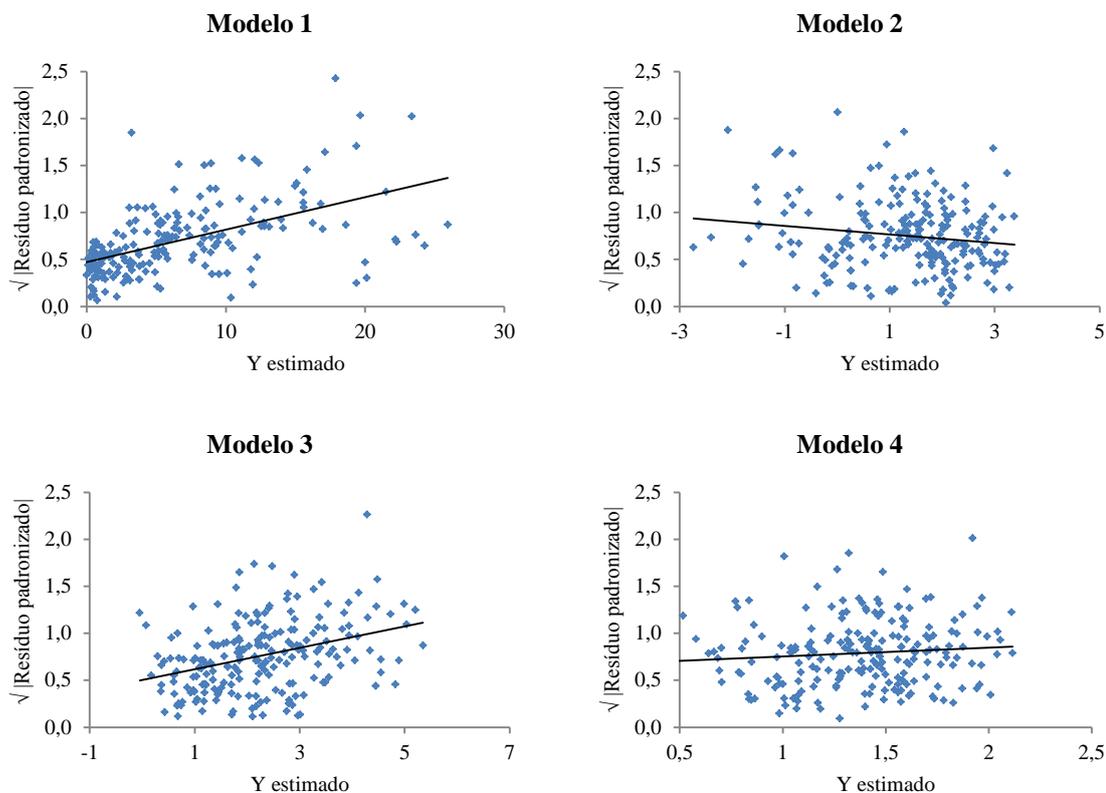
**TABELA 12:** ESTATÍSTICAS DO TESTE DE NORMALIDADE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV (K-S) PARA OS RESÍDUOS DOS MODELOS AJUSTADOS

Modelos	Dcrítico 1%	Dcrítico 5%	Dn	p-valor
1	0,1127	0,094	0,1456**	0,0000**
2	0,1127	0,094	0,0888 <sup>ns</sup>	0,0004**
3	0,1127	0,094	0,1020*	0,0000**
4	0,1127	0,094	0,0709 <sup>ns</sup>	0,0125 <sup>ns</sup>

**Em que:** \*\*: Significativo a 1% de probabilidade de erro; <sup>ns</sup>: Não significativo; **Dcrítico 1%**: Valor tabelado do teste K-S para  $\alpha = 0,01$  e  $n = 209$ ; **Dcrítico 5%**: Valor tabelado do teste K-S para  $\alpha = 0,05$  e  $n = 209$ ; **Dn**: Valor calculado do teste K-S; **p-valor**: significância do resultado.

Assim como nos ajustes da biomassa em função apenas da circunferência e apenas no comprimento do galho, para os modelos utilizando ambas variáveis independentes, a transformação da variável dependente em raiz quadrada do valor real acarretou em aumento na variância na medida em que os dados aumentaram como é possível ver o Modelo 3 na Figura 12. O Modelo 1 também apresentou este aumento na variância ao longo dos dados

estimados e o Modelo 2 apresentou decréscimo na variância na medida que os dados estimados aumentaram.



**FIGURA 12:** GRÁFICOS “SCALE-LOCATION” PARA OS QUATRO MODELOS AVALIADOS.

Portanto, utilizando como variáveis dependentes o comprimento e a circunferência da base do galho, bem como combinações destas variáveis, o modelo mais adequado para as estimativas também foi o que utilizou a transformação Box-Cox, ou seja, o Modelo 4. Apesar de apresentar a qualidade do ajuste levemente inferior em relação aos Modelos 1 e 3, foi o único que atendeu a homocedasticidade (homogeneidade na variância) e normalidade dos resíduos e, ainda, apresentou o menor valor de AIC, resultando em melhor adequação aos dados.

Couto *et al* (2009), trabalhando com transformações na variável dependente para estabilização na variabilidade gerada pela presença de valores zeros nas múltiplas colheitas de frutos de abobrinha italiana, concluíram que a transformação Box-Cox para estimativa de fitomassa fresca não fez com que os dados atendessem a homocedasticidade porém, mesmo assim, foi indicada por apresentar uma estabilização da variância.

Com a utilização das duas variáveis independentes mensuradas, a melhora dos ajustes foi perceptível com Coeficientes de Determinação Ajustados elevados e erros próximos de 20%. Quando utilizada apenas uma das variáveis independentes, a circunferência da base do

galho apresentou-se mais relacionada com a massa seca do galho com resultados próximos às combinações das variáveis.

Schumacher *et al.* (2011) concluíram que, para as estimativas de massa seca de galhos vivos em indivíduos de Araucária, o modelo de Berkhout na forma linearizada foi o mais adequado atingindo Coeficiente de Determinação Ajustado de 0,899 e Erro Padrão da Estimativa de 5,58%. Para o presente estudo, apesar dos melhores resultados serem provenientes dos ajustes em que havia variáveis independentes oriundas da circunferência e do comprimento do galho, o ganho dessa melhora com a inclusão do comprimento foi sutil, ocasionando em  $R^2_{adj}$  em cerca de 2% superiores e erros padrões da estimativa, cerca de 4% inferiores. Para a pesquisa da biomassa aérea de galhos deste autor, apesar do  $R^2_{adj}$  ter sido menor, o erro encontrado por ele foi bem menor em relação à biomassa individual de galhos, sendo o menor erro padrão da estimativa encontrado, para massa seca de galhos, de 20,09 %. Possivelmente para diminuir os erros das estimativas individuais de massa seca, devem-se inserir variáveis relacionadas à competição da árvore, pois o comprimento do galho, principalmente, foi muito variável e apresentou os resultados menos satisfatórios para as estimativas de biomassa individual de galhos.

### **2.3.5 - Massa seca de grimpã em função do comprimento do galho**

O processo de seleção de variáveis *Stepwise* indicou apenas a variável independente “ $\ln(Comp^2)$ ” para compor o modelo para estimar a massa seca de grimpã do galho. Assim, utilizou-se esta variável para os modelos em que a variável dependente foi transformada conforme apresentado na Tabela 13.

Em relação à qualidade dos ajustes da massa seca de grimpã em função do comprimento, todos os modelos apresentaram erros superiores a 50% sendo que o Modelo 1 apresentou o menor erro (50,73%) e o maior  $R^2_{adj}$  (0,212), porém, em relação ao AIC, o Modelo 4, proveniente da transformação Box-Cox, apresentou o melhor resultado. Ainda assim, os ajustes apresentaram resultados pouco satisfatórios com valores muito baixos para as estatísticas e muito elevados para os erros, conforme representado na Tabela 14.

**TABELA 13: MODELOS AVALIADOS PARA ESTIMATIVA DA MASSA SECA DE GRIMPA EM FUNÇÃO DO COMPRIMENTO DO GALHO**

Modelos	
1*	$MSgr = \beta_0 + \beta_1.Ln(Comp^2)$
2**	$Ln(MSgr) = \beta_0 + \beta_1.Ln(Comp^2)$
3**	$\sqrt{MSgr} = \beta_0 + \beta_1.Ln(Comp^2)$
4**	$MSgr^\lambda = \beta_0 + \beta_1.Ln(Comp^2)$

**Em que:** \*: Modelo selecionado pelo processo *stepwise*; \*\*: Modelos com a variável dependente transformada; *MSgr*: Massa seca de grimpa, em kg; *Comp*: Comprimento do galho, em m;  $\lambda$ : Constante proveniente da transformação Box-Cox; *Ln*: Logaritmo Neperiano;  $\beta_0$  e  $\beta_1$ : Coeficientes ajustados para os modelos.

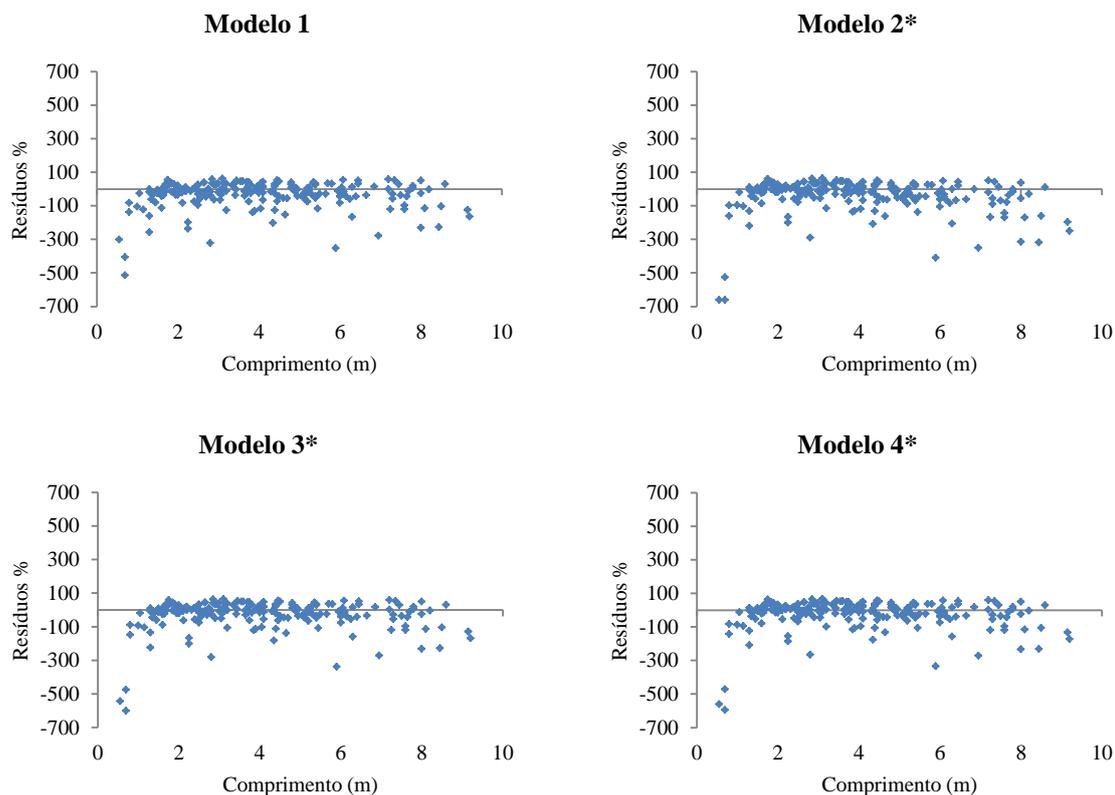
Os resíduos encontrados nos ajustes dos quatro modelos foram muito similares, com tendência de superestimação ao longo de toda a amplitude dos dados, principalmente para os menores comprimentos. Na Figura 13 é apresentada a distribuição dos resíduos das estimativas da massa seca de grimpa em função do comprimento do galho.

**TABELA 14: COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DOS MODELOS AJUSTADOS**

Modelo	Coeficientes		$R^2_{adj}$	Estatísticas			
	$\beta_0$	$\beta_1$		Syx (kg)	Syx (%)	AIC	$\lambda$
1	0,6831 **	0,3824 **	0,212	0,834	50,73	521,2	-
2	-0,5773 **	0,3536 **	0,100	0,891	54,22	350,8	-
3	0,8046 **	0,1691 **	0,185	0,849	51,62	106,3	-
4	0,8510 **	0,1154 **	0,168	0,857	52,13	-76,5	0,3434

**Em que:** \*\*: Coeficiente significativo a 1% de probabilidade de erro ( $p < 0,01$ );  $R^2_{adj}$ : Coeficiente de Determinação Ajustado; **Syx (kg)**: Erro padrão da estimativa absoluto, em kg; **Syx (%)**: Erro padrão da estimativa relativo, em porcentagem;  $\lambda$ : Valor obtido pela transformação Box-Cox; **AIC**: Critério de Informação de Akaike.

Apesar da qualidade dos ajustes não apresentar valores satisfatórios, o teste de normalidade de K-S aplicado aos resíduos das estimativas inferiu que apenas o modelo original (Modelo 1) não apresentou normalidade na distribuição de resíduos, qualificando os demais modelos para possível utilização nas estimativas, pois apresentam p-valor superior a 0,01. Os resultados do teste de K-S são apresentados na Tabela 15.



\* Para valores recalculados.

**FIGURA 13:** DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS DAS ESTIMATIVAS DA MASSA SECA DE GRIMPA.

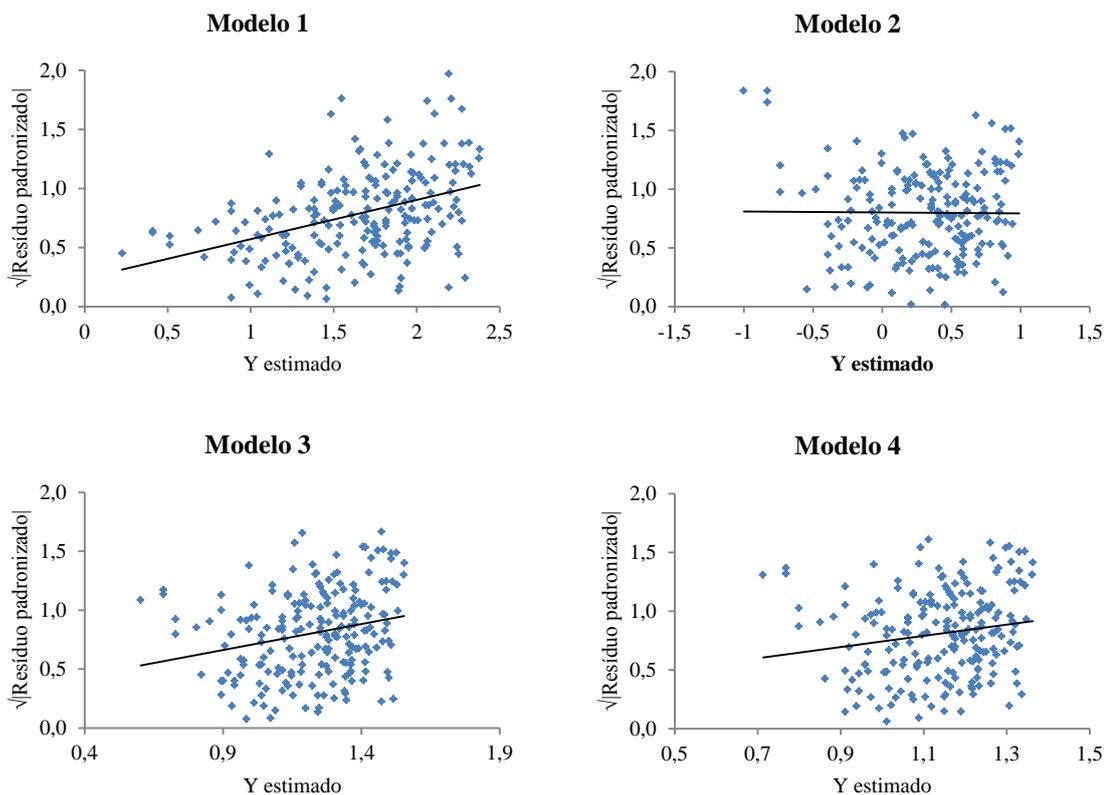
Em relação a homocedasticidade dos resíduos, o método gráfico “*Scale-location*” evidencia que, os Modelos 1, 3 e 4 tendem a apresentar elevação na variância na medida em que os dados estimados aumentam. O Modelo 2, proveniente da logaritmização da variável dependente, foi o que apresentou o melhor resultado com uma tendência quase horizontal em relação ao eixo X, conforme ilustrado na Figura 14.

**TABELA 15:** ESTATÍSTICAS DO TESTE DE NORMALIDADE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV (K-S) PARA OS RESÍDUOS DOS MODELOS AJUSTADOS

Modelos	Dcrítico 1%	Dcrítico 5%	Dn	p-valor
1	0,1127	0,094	0,1210 <sup>**</sup>	0,0000 <sup>**</sup>
2	0,1127	0,094	0,0697 <sup>ns</sup>	0,0154 <sup>ns</sup>
3	0,1127	0,094	0,0483 <sup>ns</sup>	0,2744 <sup>ns</sup>
4	0,1127	0,094	0,0327 <sup>ns</sup>	0,8475 <sup>ns</sup>

**Em que:** <sup>\*\*</sup>: Significativo a 1% de probabilidade de erro; <sup>ns</sup>: Não significativo; **Dcrítico 1%**: Valor tabelado do teste K-S para  $\alpha = 0,01$  e  $n = 209$ ; **Dcrítico 5%**: Valor tabelado do teste K-S para  $\alpha = 0,05$  e  $n = 209$ ; **Dn**: Valor calculado do teste K-S; **p-valor**: significância do resultado.

Apesar do Modelo 2 apresentar o melhor resultado em relação a homocedasticidade, ele obteve resultados inferiores para a qualidade do ajuste. Assim, para a estimativa da massa seca de grimpas em função apenas do comprimento do galho, deve-se levar também em consideração os Modelos 3 e 4 pois, apesar de apresentarem heterocedasticidade, a qualidade dos ajustes pode afetar de forma mais relevante nas estimativas.



**FIGURA 14:** GRÁFICOS “SCALE-LOCATION” PARA OS QUATRO MODELOS AVALIADOS.

### 2.3.6 - Massa seca de grimpã em função da circunferência da base do galho

De acordo com o processo de seleção de variáveis *stepwise* para a estimativa de massa seca de grimpã em função apenas da circunferência a 0% do comprimento, a variável independente mais relacionada foi a raiz quadrada da circunferência, sendo esta também significativa para os modelos em que a variável dependente foi transformada, conforme apresentado na Tabela 16.

**TABELA 16:** MODELOS TESTADOS PARA ESTIMATIVA DA MASSA SECA DE GRIMPA EM FUNÇÃO DA CIRCUNFERÊNCIA DA BASE DO GALHO

Modelos	
1*	$MSgr = \beta_0 + \beta_1 \cdot \sqrt{Circf}$
2**	$Ln(MSgr) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \sqrt{Circf}$
3**	$\sqrt{MSgr} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \sqrt{Circf}$
4**	$MSgr^\lambda = \beta_0 + \beta_1 \cdot \sqrt{Circf}$

**Em que:** \*: Modelo selecionado pelo processo *stepwise*; \*\*: Modelos com a variável dependente transformada; *MSgr*: Massa seca de grimpã, em kg; *Circf*: Circunferência a 0% do comprimento do galho, em cm;  $\lambda$ : Constante proveniente da transformação Box-Cox; *Ln*: Logaritmo Neperiano;  $\beta_0$  e  $\beta_1$ : Coeficientes ajustados para os modelos.

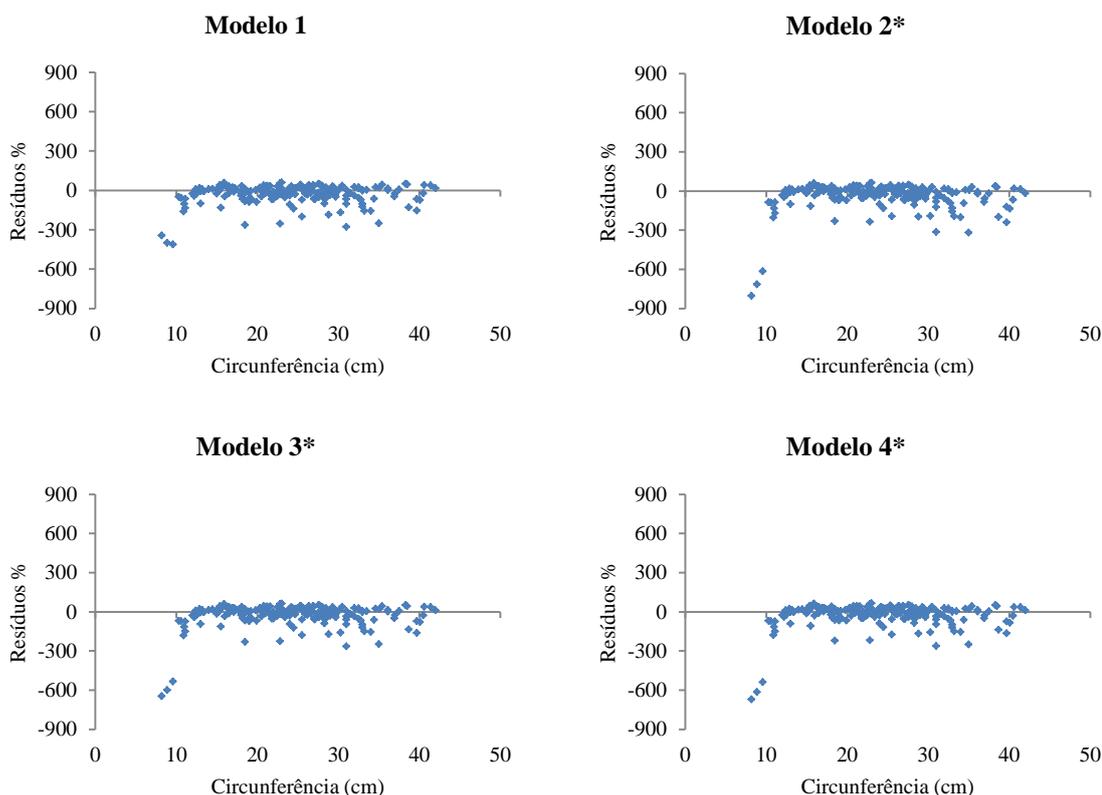
Para o ajuste da massa seca de grimpã em função da circunferência, os erros padrões da estimativa apresentaram-se inferiores a 50%, porém ainda muito próximos a este valor. O Modelo 1 com a variável dependente original foi o que apresentou o melhor ajuste com valor de  $R^2_{adj}$  de 0,348 e Syx de 46,17%. O Modelo 2, assim como no ajuste na massa seca de grimpã em função do comprimento, foi o que apresentou resultados inferiores com  $R^2_{adj}$  de 0,262 e Syx de 49,11%. Os Modelos 3 e 4, com variável dependente transformada com raiz quadrada e Box-Cox, respectivamente, forneceram resultados muito semelhantes, inclusive o intercepto ( $\beta_0$ ) não foi significativo para ambos modelos. Mesmo o intercepto não sendo representativo, ele foi mantido para as estimativas. Considerando os valores de AIC, o Modelo 4 apresentou o valor mais baixo, demonstrando melhor adequação aos dados. Os resultados dos ajustes são apresentados na Tabela 17.

**TABELA 17:** COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DOS MODELOS AJUSTADOS

Modelo	Coeficientes		Estatísticas				
	$\beta_0$	$\beta_1$	$R^2_{adj}$	Syx (kg)	Syx (%)	AIC	$\lambda$
1	-1,7713 **	0,7057 **	0,348	0,759	46,17	481,9	-
2	-2,4371 **	0,5679 **	0,262	0,807	49,11	323,7	-
3	-0,1947 ns	0,2943 **	0,332	0,768	46,73	66,5	-
4	0,0940 ns	0,2208 **	0,325	0,772	46,97	-62,7	0,3838

**Em que:** \*\*: Coeficiente significativo a 1% de probabilidade de erro ( $p < 0,01$ ); ns: Coeficiente não significativo;  $R^2_{adj}$ : Coeficiente de Determinação Ajustado; Syx (kg): Erro padrão da estimativa absoluto, em kg; Syx (%): Erro padrão da estimativa relativo, em porcentagem;  $\lambda$ : Valor obtido pela transformação Box-Cox. AIC: Critério de Informação de Akaike.

Levando em consideração a homogeneidade na distribuição de resíduos, os quatro modelos apresentaram-se muito semelhantes, com tendências a superestimar os valores de massa seca de grimpã principalmente nas menores dimensões de circunferência, conforme apresentado na Figura 15.



\* : Para valores recalculados.

**FIGURA 15:** DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS DAS ESTIMATIVAS DA MASSA SECA DE GRIMPA.

Apesar dos Modelos 1 e 2 apresentarem o valor calculado ( $D_n$ ) do teste de normalidade K-S menor que os valores tabelados ( $D_{crítico}$ ), o p-valor indicou que, para ambos modelos, os resíduos podem não apresentar uma distribuição normal. Os Modelos 2 e 3 apresentaram p-valor bem superiores a 0,01 inferindo que, para esses modelos, não se pode descartar a hipótese de que os resíduos possuem uma distribuição próxima à normal. Estas informações estão apresentadas na Tabela 18.

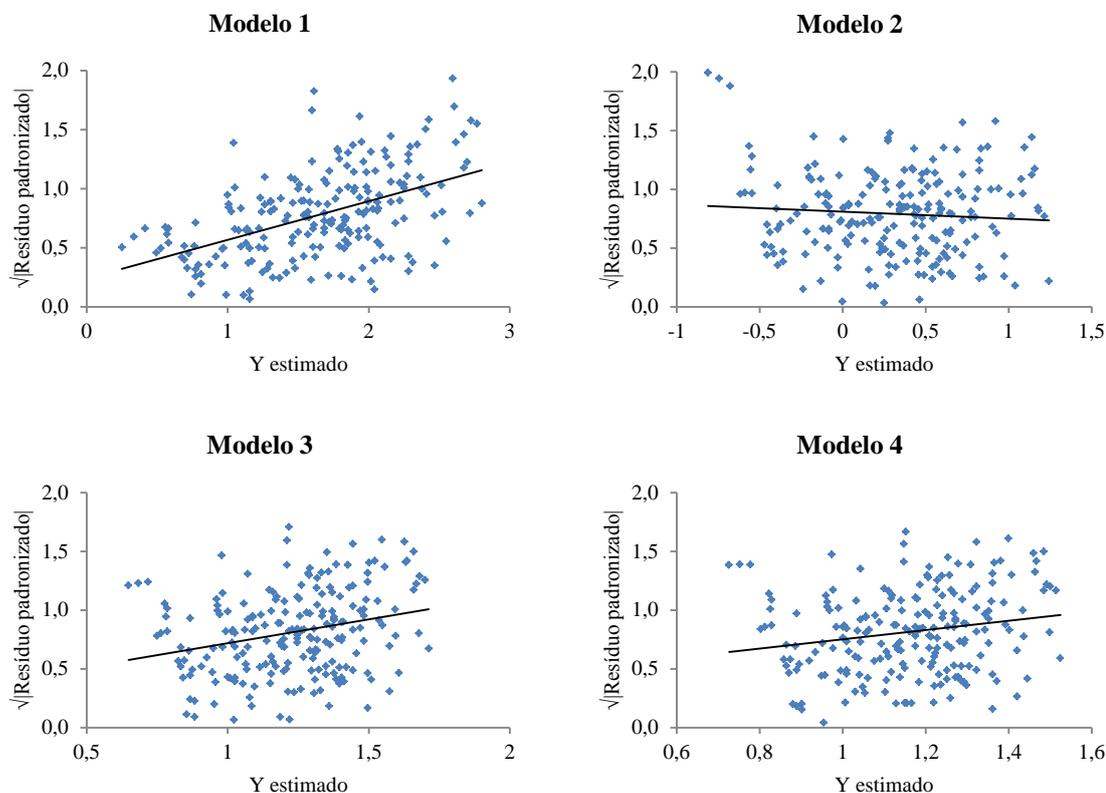
**TABELA 18:** ESTATÍSTICAS DO TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV (K-S) PARA OS RESÍDUOS DOS MODELOS AJUSTADOS

Modelos	Dcrítico 1%	Dcrítico 5%	Dn	p-valor
1	0,1127	0,094	0,0881 <sup>ns</sup>	0,0005 <sup>**</sup>
2	0,1127	0,094	0,0826 <sup>ns</sup>	0,0015 <sup>**</sup>
3	0,1127	0,094	0,0316 <sup>ns</sup>	0,8789 <sup>ns</sup>
4	0,1127	0,094	0,0330 <sup>ns</sup>	0,8366 <sup>ns</sup>

**Em que:** \*\*: Significativo a 1% de probabilidade de erro; <sup>ns</sup>: Não significativo; **Dcrítico 1%**: Valor tabelado do teste K-S para  $\alpha = 0,01$  e  $n = 209$ ; **Dcrítico 5%**: Valor tabelado do teste K-S para  $\alpha = 0,05$  e  $n = 209$ ; **Dn**: Valor calculado do teste K-S; **p-valor**: significância do resultado.

Em relação à homocedasticidade dos resíduos, o método gráfico "Scale-location" para verificar o comportamento da variância em relação a amplitude dos valores estimados indicou

que os Modelos 1, 3 e 4 apresentaram tendência a elevar a variância na medida que os dados estimados aumentaram. Em contrapartida, o Modelo 2 apresentou tendência inversa com redução da variância à medida que as estimativas aumentaram, conforme apresentado na Figura 16.



**FIGURA 16:** GRÁFICOS “SCALE-LOCATION” PARA OS QUATRO MODELOS AVALIADOS.

Apesar de uma pequena melhora das estimativas da massa seca de grimpia em função da circunferência da base do galho em relação ao comprimento, os resultados encontrados ainda se apresentam ruins, sendo que, devido à normalidade dos resíduos em conjunto com os demais critérios avaliados, os principais modelos a serem considerados são o 3 e 4, oriundos da transformação da variável dependente em raiz quadrada e Box-Cox, respectivamente.

### 2.3.7 - Massa seca de grimpia em função do comprimento e da circunferência da base do galho

Para as estimativas da massa seca de grimpia em função do comprimento do galho, da circunferência da base e devidas combinações, o processo de seleção do *Stepwise* indicou duas variáveis independentes, sendo elas: a circunferência ao quadrado e o quadrado do produto do comprimento e a circunferência. Neste modelo, nenhuma variável independente oriunda exclusivamente do comprimento foi selecionada, conforme apresentado na Tabela 19.

**TABELA 19:** MODELOS PARA ESTIMATIVA DA MASSA SECA DE GRIMPA EM FUNÇÃO DO COMPRIMENTO E DA CIRCUNFERÊNCIA DA BASE DO GALHO

Modelos	
1*	$MSgr = \beta_0 + \beta_1.Circf^2 + \beta_2.(Comp.Circf)^2$
2**	$Ln(MSgr) = \beta_0 + \beta_1.Circf^2 + \beta_2.(Comp.Circf)^2$
3**	$\sqrt{MSgr} = \beta_0 + \beta_1.Circf^2 + \beta_2.(Comp.Circf)^2$
4**	$MSgr^\lambda = \beta_0 + \beta_1.Circf^2 + \beta_2.(Comp.Circf)^2$

**Em que:** \*: Modelo selecionado pelo processo *stepwise*; \*\*: Modelos com a variável dependente transformada; **MSgr**: Massa seca do galho, em kg; **Comp**: Comprimento do galho, em m; **Circf**: Circunferência da base do galho, em cm;  $\lambda$ : Constante proveniente da transformação Box-Cox; **Ln**: Logaritmo Neperiano;  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$ : Coeficientes ajustados para os modelos.

Após a transformação da variável dependente e os devidos ajustes dos modelos, as variáveis independentes selecionadas pelo processo *Stepwise* foram significativas com p-valor menor que 0,01, compondo os novos modelos.

A qualidade dos ajustes para as estimativas da massa seca de grimpa utilizando as variáveis independentes provenientes do comprimento e circunferência melhorou em relação aos ajustes em que foi utilizado apenas o comprimento ou apenas a circunferência. Porém, os resultados continuam insatisfatórios por apresentar erros elevados e coeficientes de determinação baixos. O Modelo 1 apresentou  $R^2_{adj}$  de 0,438 e erro de 42,86% e, apesar do coeficiente  $\beta_0$  ter sido não significativo, foi mantido no modelo. O Modelo 4 apresentou o menor valor para AIC (-91,4), muito inferior ao Modelo 1 (451,7), demonstrando que, por meio deste critério, o Modelo 4 foi mais adequado conforme apresentado na Tabela 20.

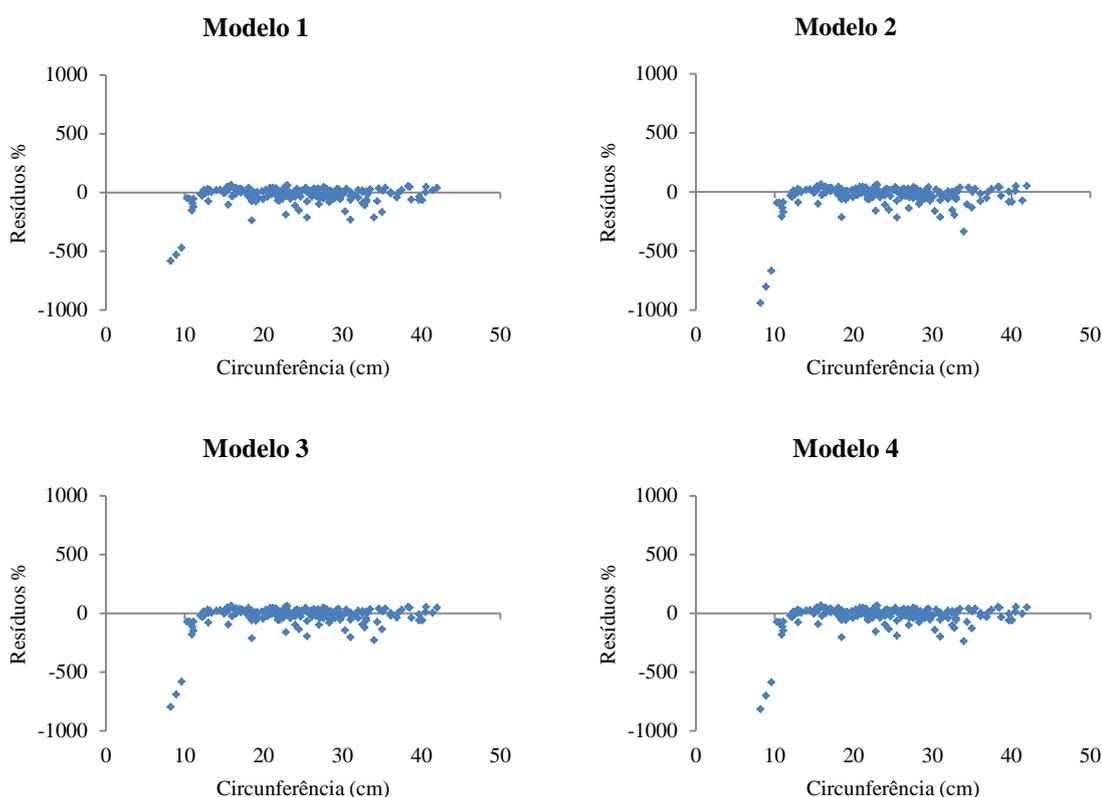
**TABELA 20:** COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DOS MODELOS AJUSTADOS

Modelo	Coeficientes			$R^2_{adj}$	Estatísticas			
	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$		Syx (kg)	Syx (%)	AIC	$\lambda$
1	0,1736 ns	0,0032 **	-2,8E-05 **	0,438	0,705	42,86	451,7	-
2	-0,8239 **	0,0025 **	-2,5E-05 **	0,261	0,808	49,12	305,3	-
3	0,6228 **	0,0013 **	-1,3E-05 **	0,423	0,714	43,42	36,3	-
4	0,7095 **	0,0010 **	-9,5E-06 **	0,413	0,720	43,78	-91,4	0,3838

**Em que:** \*\*: Coeficiente significativo a 1% de probabilidade de erro ( $p < 0,01$ ); \*: Coeficiente significativo a 5% de probabilidade de erro ( $p < 0,05$ ); **ns**: Coeficiente não significativo;  $R^2_{adj}$ : Coeficiente de Determinação Ajustado; **Syx (kg)**: Erro padrão da estimativa absoluto, em kg; **Syx (%)**: Erro padrão da estimativa relativo, em porcentagem;  $\lambda$ : Valor obtido pela transformação Box-Cox; **AIC**: Critério de Informação de Akaike.

Novamente, a transformação da variável dependente por meio da raiz quadrada, apresentou os piores resultados (Modelo 2) com  $R^2_{adj}$  de 0,261 e Syx de 49,12% e os Modelos 3 e 4 forneceram resultados semelhantes.

Em relação à homogeneidade dos resíduos, o Modelo 2 apresentou-se um pouco mais disperso em relação aos demais, sendo que os Modelos 1, 3 e 4 demonstraram comportamentos semelhantes. Entretanto, os quatro modelos apresentaram tendência a superestimação dos valores de massa seca de grimba, principalmente nos galhos de menores dimensões de circunferência, conforme observado na Figura 17.



**FIGURA 17:** DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS DAS ESTIMATIVAS DA MASSA SECA DE GRIMPA.

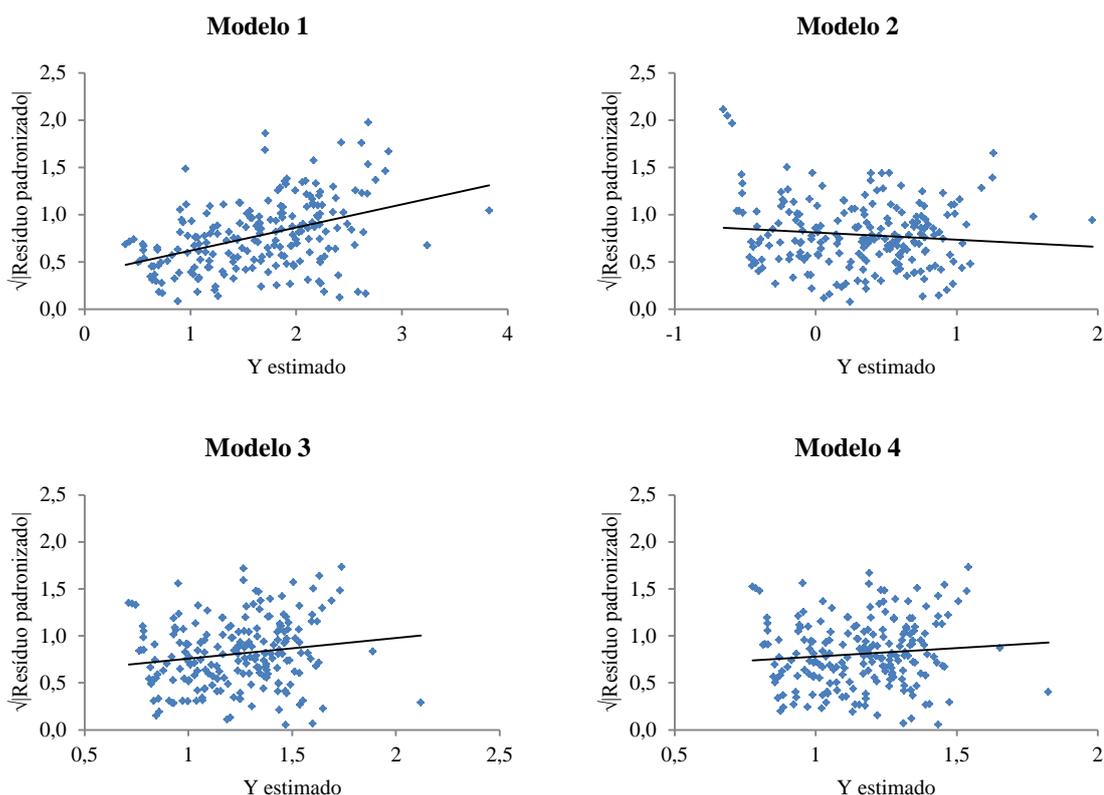
O teste de normalidade de K-S, utilizado nos resíduos em relação aos valores observados, demonstrou que, por meio do p-valor, apenas os Modelo 3 e 4 seguem um comportamento normal dos dados, sendo este critério de extrema importância para a aplicação da regressão linear. Os resultados do teste de K-S para os resíduos das estimativas da massa seca de grimba em função da circunferência e do comprimento do galho são demonstrados na Tabela 21.

**TABELA 21:** ESTATÍSTICAS DO TESTE DE NORMALIDADE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV (K-S) PARA OS RESÍDUOS DOS MODELOS AJUSTADOS

Modelos	Dcrítico 1%	Dcrítico 5%	Dn	p-valor
1	0,1127	0,094	0,0806 <sup>ns</sup>	0,0021 <sup>**</sup>
2	0,1127	0,094	0,0774 <sup>ns</sup>	0,0040 <sup>**</sup>
3	0,1127	0,094	0,0435 <sup>ns</sup>	0,4364 <sup>ns</sup>
4	0,1127	0,094	0,0391 <sup>ns</sup>	0,6081 <sup>ns</sup>

**Em que:** **\*\***: Significativo a 1% de probabilidade de erro; **ns**: Não significativo; **Dcrítico 1%**: Valor tabelado do teste K-S para  $\alpha = 0,01$  e  $n = 209$ ; **Dcrítico 5%**: Valor tabelado do teste K-S para  $\alpha = 0,05$  e  $n = 209$ ; **Dn**: Valor calculado do teste K-S; **p-valor**: significância do resultado.

De acordo com a análise gráfica, a variância tendeu a aumentar à medida que os valores estimados aumentaram para os Modelos 1, 3 e 4, porém, em maiores proporções no Modelo 1. O Modelo 2, novamente, apresentou tendência de redução da variância à medida que os valores estimados para a variável dependente aumentaram, conforme ilustrado na Figura 18.



**FIGURA 18:** GRÁFICOS “SCALE-LOCATION” PARA OS QUATRO MODELOS AVALIADOS.

Pelo fato do Modelo 1 não apresentar normalidade na distribuição dos resíduos, bem como heterocedasticidade (variância não constante), deve-se evitar sua utilização mesmo com os melhores valores das estatísticas de ajuste. Desta forma, os Modelos 3 e 4 apresentaram-se muito semelhantes podendo ambos serem levados em consideração para a seleção do modelo

mais adequado para os presentes dados. Silva e Bailey (1991) concluíram que, para o ajuste dos modelos volumétricos testados em *Pinus elliottii* e *Eucalyptus grandis*, a transformação Box-Cox foi eficiente acarretando em melhor ajuste e menor erro no modelo.

Quando utilizado apenas a variável comprimento para as estimativas da massa seca de grimpas, os resultados foram inferiores aos encontrados para a relação entre circunferência de base e massa seca de grimpas. Conforme discutido anteriormente para massa seca de galho, as estimativas de massa seca de grimpas também melhoraram na medida em que se utilizou o comprimento e a circunferência da base do galho como variáveis independentes. Porém, mesmo com as combinações das variáveis, os resultados não evidenciaram uma boa qualidade nos ajustes. Estes resultados de ajustes para massa seca de grimpas inferiores a massa seca de lenho dos galhos eram esperados pelo fato das grimpas possuírem ciclo de vida menor ao galho, além de serem mais vulneráveis a quedas com adversidades e, principalmente, por algumas grimpas terem sido desconectadas aos ramos com as quedas das árvores.

Em um estudo em povoamento de Araucária, Schumacher *et al.* (2011) relataram que o melhor modelo para estimar a massa seca de grimpas para as árvores foi o que utilizou apenas o inverso do diâmetro como a variável independente, e a variável dependente foi transformada por meio do Logaritmo Neperiano. Neste modelo, esses autores encontraram  $R^2_{adj}$  de 0,931 e Syx de 5,57%. Esses resultados foram muito superiores aos encontrados para massa seca individual da presente pesquisa, demonstrando a necessidade de mais pesquisas utilizando possivelmente variáveis relacionadas à árvore para estimativa da massa seca individual de grimpas de galho, pois a heterogeneidade das florestas naturais possivelmente contribuem para esses resultados.

## 2.4 – CONCLUSÕES

- Os galhos mensurados apresentam grandes dimensões de circunferência de base e comprimento podendo chegar a elevadas massas e volumes que poderiam ser utilizados para usos mais específicos além de poder ter alta relação com a ciclagem de nutrientes em Floresta Ombrófila Mista.
- A combinação e transformação das variáveis independentes comprimento e circunferência da base do galho resultaram em melhores ajustes para massa seca de galho e grimpas, seguido apenas da circunferência, que teve resultados próximos e, por último o comprimento.
- Os galhos de menores dimensões com valores muito baixos de massa seca acabaram influenciando os ajustes dos modelos.
- A transformação Box-Cox demonstrou-se eficiente para atender a homocedasticidade e a normalidade dos resíduos para as estimativas da massa seca de galhos enquanto que para as grimpas, a raiz quadrada e a transformação Box-Cox da variável dependente foram eficientes apenas para a normalidade de resíduos. Em todos os casos, os modelos provenientes da transformação Box-Cox da variável dependente apresentaram os melhores valores para o Critério de Informação de Akaike (AIC), pois essa transformação e o AIC levam em consideração a função de máxima verossimilhança.

## 2.5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZEVEDO, A. M.; ANDRADE JÚNIOR, V. C.; FERNANDES, J. S. C. Transformação Box-Cox na homocedasticidade e normalidade uni e multivariada em experimentos de batata-doce. **Hortic. Bras.** v. 34, n. 1, jan-mar. 2016.
- BRACK, P.; GRINGS, M. *Araucaria angustifolia* – Pinheiro-brasileiro – Potencial madeireiro. In: CONRADIN, L.; SIMINSKI, A.; REIS, A. **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: Plantas para o futuro – Região Sul.** Brasília, MMA, 2011.
- BOX, G. E. P.; COX, D. R. Na Analysis of transformation. **Journal of the Royal Statistical Society.** Serie B (Methodological), Vol. 26, n. 2, pp. 211-252. 1964.
- CALDEIRA, M. V. W.; WATZLAWICK, L. F.; VIEIRA, M.; BALBINOT, R.; CASTRO, K. C. Biomassa e carbono orgânico em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 4, p. 1027-1034, out-dez., 2015.
- CORADIN, L.; SIMINSKI, A.; REIS, A. **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro – Região Sul.** Brasília: MMA, 2011.
- COUTO, M. R. M.; LÚCIO, A. D.; LOPES, S. J.; CARPES, R. H. Transformações de dados em experimentos com abobrinha italiana em ambiente protegido. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n.6, p.1701-1707, set, 2009.
- EQUIPE ESTATCAMP (2014). Software Action. Estatcamp – Consultoria em estatística e qualidade. São Carlos – SP, Brasil. URL: <http://www.portalaction.com.br> .
- GOTELLI, N. J.; ELLISON, A. M. **Princípios de estatística em ecologia.** Artmed. 528p. 2011.
- GUERRA, M. P.; SILVEIRA, V.; REIS, M. S.; SCHNEIDER, L. Exploração, manejo e conservação da araucária (*Araucaria angustifolia*). In: Simões, L. L.; LINO, C. F. (Org.) **Sustentável mata atlântica: a exploração de seus recursos florestais.** São Paulo: Editora SENAC São Paulo, p. 85-101. 2002.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil.** Vol. 1, 5ª ed., Nova Odessa, SP, Instituto Plantarum, 2008.
- LÚCIO, A. D.; COUTO, M. R. M.; LOPES, S. J.; STORCK, L. Transformação box-cox em experimentos com pimentão em ambiente protegido. **Hortic. Bras.** V. 29, n. 1, jan-mar. 2011.
- LUSK, C. H. Leaf life spans of some conifers of the temperate forests of South America. **Revista Chilena de História Natural.** V. 74, p. 711-718; 2001.
- MATTOS, J. R. O Pinheiro brasileiro. Ed. da UFSC. 700p. 2011.
- MELLO, M. P.; PETERNELLI, L. A. **Conhecendo o R: uma visão mais que estatística.** Viçosa – MG, UFV, 222p, 2013.
- MIGUEL, E. P. **Avaliação biométrica e prognose da produção de *Eucalyptus urophylla* (S.T. Blake) na região norte do Estado de Goiás.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), UFPR, Curitiba, PR, 2009.
- 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, 2001.

- NUTTO, L.; SPATHELF, P. Modelagem da desrama natural de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Rev Floresta**, v. 33, n. 3, p. 295-309, 2003.
- ODA-SOUZA, M.; BATISTA, J. L.; RIBEIRO Jr, P. J.; RODRIGUES, R. R. Comparação das estruturas de continuidade espacial em quatro formações florestais do Estado de São Paulo. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 40, n. 3, p. 515-522, jul./set. 2010.
- R Development Core Team (2011). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL: <http://www.R-project.org/> .
- ROCHA JÚNIOR, D. S. **Quantificação de biomassa foliar de *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), UFSM, Santa Maria, RS. 2013.
- SCHNEIDER, P. R. **Modelos de equação e tabelas para avaliar o peso de casca de Acácia Negra, *Acacia mearnsii* de Wild.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), UFPR, Curitiba, PR. (1978)
- SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R.; CALIL, F. N.; LOPES, V. G.; VIEIRA, M. Produção de biomassa no corte raso em plantio de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze de 27 anos de idade em Quedas do Iguaçu, PR. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 1., p. 53-62, jan./mar., 2011.
- SILVA, J. A. A.; BAILEY, R. L. O uso de transformações normalizadoras no ajuste de modelos volumétricos. **Rev. Árvore**, Viçosa, v. 15, n. 2, p. 199-206, 1991.
- SOBRAL, T. E.; BARRETO, G. Análise dos critérios de informação para a seleção de ordem em modelos auto-regressivos. **Anais**. 10ª Conferência Brasileira de Dinâmica, Controle e Aplicações. 2011.
- SOCHER, L. G.; RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F. Biomassa aérea de uma Floresta Ombrófila Mista Aluvial no município de Araucária (PR). **Floresta**, Curitiba, PR, v. 38, n. 2, abr./jun. 2008.
- SOUZA, R. F.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; KOEHLER, H. S. Modelagem do carbono orgânico total e da lenha por unidade de área para bracingais nativos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 1, p. 117-127, jan-mar.; 2013.
- WATZLAWICK, L. F.; SANQUETTA, C. R.; ARCE, J. E.; BALBINOT, R. Quantificação de biomassa total e carbono orgânico em povoamento de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze no sul do Estado do Paraná, Brasil. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 1, n. 2, p. 63-68, abr./jun. 2003.

### 3 - BIOMASSA AÉREA DE ARAUCÁRIA E SUA MODELAGEM EM ÁRVORES NATIVAS

#### RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi avaliar e modelar a biomassa aérea total e parcial nos compartimentos fuste com casca, galhos e ramos foliares (grimpas) de árvores nativas de *Araucaria angustifolia* em fragmentos de Floresta Ombrófila Mista. Foram utilizados dados de 30 árvores em que, para massa seca de fuste com casca utilizou-se da densidade básica média de discos coletados em campo e segmentos do tronco inerente à copa, de forma que contemplasse um verticilo e um entre verticilo, e da cubagem da árvore. Para as estimativas da massa seca de galhos e grimpas utilizaram-se de equações ajustadas provenientes do capítulo anterior desta pesquisa considerando como variável independente apenas a circunferência do nó. Em média, 77,00 % da massa seca aérea foram provenientes do fuste com casca, 18,26% dos galhos e 4,74% das grimpas. A variável de maior correlação com a massa seca das grimpas foi o comprimento de copa ( $r = 0,76$ ) seguido do DAP ( $r = 0,73$ ) enquanto que para massa seca de galhos, fuste e total da árvore foi o DAP, com índices de 0,79, 0,95 e 0,93, respectivamente. O comprimento de copa foi a segunda variável mais correlacionada com a massa seca destes compartimentos e do total. O modelo de Spurr apresentou os melhores resultados para todos os compartimentos e para o total, porém, o coeficiente  $\beta_0$  foi não significativo em todos os ajustes. Para as grimpas, o modelo de Schumacher-Hall linearizado foi o segundo melhor, mas o coeficiente  $\beta_2$  não foi significativo. Assim, para a massa seca de grimpas, o melhor modelo foi o de simples entrada com o comprimento de copa como variável independente com  $R^2_{adj}$  de 0,515 e Syx de 24,48%. Para massa seca de galho, o segundo melhor modelo foi o de simples entrada com o DAP em seu valor absoluto como variável independente gerando  $R^2_{adj}$  de 0,604 e Syx de 35,30%. As estimativas de massa seca de fuste apresentaram os melhores resultados sendo que, desconsiderando o modelo de Spurr, o modelo de Schumacher-Hall linearizado teve as melhores estatísticas com  $R^2_{adj}$  de 0,936 e Syx de 8,92%. Para a massa seca total, os resultados foram muito semelhantes ao Fuste, destacando o modelo de Schumacher-Hall linearizado com  $R^2_{adj}$  de 0,885 e Syx de 12,82%. É importante destacar que, os modelos de simples entrada utilizando apenas o DAP como variável independente apresentaram resultados satisfatórios com estatísticas muito próximas aos demais modelos.

Palavras-chave: Biomassa parcial e total; *Araucaria angustifolia*; Fragmento de floresta; Compartimentos;

## ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate and model the total and partial aerial biomass in the compartments trunk with bark, leaf twigs and branches of native *Araucaria angustifolia* trees in fragments of Mixed Ombrophilous Forest. Data from 30 trees were used in which, for the dry mass of the trunk with bark, the mean basic density of discs collected in the field and segments of the trunk inherent to the crown was used to look at a whorl and one whip. For the estimates of the dry mass of branches and leaf twigs, we used adjusted equations from the previous chapter of this research considering as independent variable only the circumference of the node. On average, 77.00 % of the aerial dry mass came from the trunk with bark, 18.26 % from the branches and 4.74 % from the leaf twigs. The highest correlation coefficient with the dry mass of the tree leaf twigs was crown length ( $r = 0.76$ ) followed by DHB ( $r = 0.73$ ), while for dry mass of branches, trunk with bark and total tree was DHB, with rates of 0.79, 0.95 and 0.93, respectively. The crown length was the second most correlated variable with the dry mass of these compartments and the total. The Spurr model presented the best results for all compartments and for the total, however, the coefficient  $\beta_0$  was not significant in all the settings. For the leaf twigs, the linearized Schumacher-Hall model was the second best, but the coefficient  $\beta_2$  was not significant. Thus, for the dry mass of leaf twigs, the best model was the simple entry with crown length as independent variable with  $R^2_{adj}$  of 0.515 and Syx of 24.48%. For dry branch mass, the second best model was the simple entry with DHB as independent variable generating  $R^2_{adj}$  of 0.604 and Syx of 35.30%. The dry mass estimate of the trunk with bark showed the best results and, disregarding the Spurr model, the linearized Schumacher-Hall model had the best statistics with  $R^2_{adj}$  of 0.936 and Syx of 8.92%. For the total dry mass, the results were very similar to trunk with bark, especially the linearized Schumacher-Hall model with  $R^2_{adj}$  of 0.885 and Syx of 12.82%. It is important to note that the simple input models using only the DHB as independent variable presented good results with statistics very close to the other models.

Keywords: Partial and total biomass; *Araucaria angustifolia*; Forest fragment; Compartments;

### 3.1 - INTRODUÇÃO

A *Araucaria angustifolia* constitui a espécie mais representativa da Floresta Ombrófila Mista, podendo chegar a 50 m de altura e até 1,8 m de diâmetro com distribuição de Minas Gerais e Rio de Janeiro até o Rio Grande do Sul em regiões com altitude acima de 900 metros, sendo para o sul, acima de 500 m (LORENZI, 2008). Dentre estes estados em que esta espécie ocorre naturalmente, o Paraná é o mais expressivo, pois era o que possuía maior cobertura florestal com esta fitofisionomia, originando nomes de diversas cidades e constituindo diversos brasões municipais, como Curitiba, São José dos Pinhais, Pinhão, Araucária, dentre outros.

Esta espécie foi amplamente explorada ao longo dos anos, principalmente em meados do século XX em que foi a principal madeira utilizada na construção civil no Sul do Brasil e um dos principais produtos de exportação (BRACK e GRINGS, 2014). Nesta época, a abundância desta espécie era expressiva, de modo que não havia muita preocupação com a forma de exploração e sua importância ecológica. Assim, muitos genótipos potenciais podem ter sido perdidos ao longo do tempo sem mesmo terem sido pesquisados, pois o corte priorizava os indivíduos sadios e de maior porte da floresta.

Essas florestas, além de proporcionar matéria prima para diversos setores, elas também são responsáveis pela manutenção dos ecossistemas e colaboram para a estabilidade, a nível global, das concentrações de gases de efeito estufa graças ao potencial que possuem em sequestrar carbono por meio da fotossíntese.

O interesse em relação ao sequestro de carbono em plantios florestais tem crescido, em razão de sua elevada taxa de crescimento e grande capacidade de fixar o dióxido de carbono da atmosfera. Em florestas, o interesse existe, mas não é tão acentuado, devido às mesmas não serem contempladas pelo Protocolo de Quioto, porém a principal abordagem que está sendo discutida é o mecanismo de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação, conhecido como REDD, cujo principal objetivo é compensar os esforços em prol da conservação florestal (WATZLAWICK *et al.*, 2012).

Para estas compensações é necessário bases de dados, principalmente de informações de biomassa, pois é por meio desta variável que se pode então quantificar o carbono sequestrado, além de ser a principal variável relacionada com o ciclo biogeoquímico para manutenção das florestas.

Para Sanquetta (2002), as estimativas de biomassa e carbono em florestas podem ser feitas por métodos diretos e indiretos. O método direto consiste em pesar toda biomassa, geralmente por processo destrutivo, porém é inviável para aplicação em grandes áreas devido

ao tempo e ao custo. Por outro lado, os métodos indiretos implicam em emprego de algum tipo de modelagem da biomassa e do carbono, empregando-se fatores e/ou equações que precisam ser ajustados a partir de uma base primária de dados.

Em florestas naturais, o método indireto é o mais recomendado, pois o interesse é conhecer sua biomassa aérea viva. Porém, para a melhoria das estimativas pelo método indireto, deve-se esporadicamente realizar uma inserção de dados oriundos do método direto, aumentando assim a amplitude de dados analisados e realizando novos ajustes para contemplar possíveis novas ocorrências que não haviam sido consideradas em pesquisas anteriores.

Em trabalhos de biomassa de *Araucaria angustifolia* destacam-se os de Watzlawick *et al.* (2003), Tomaselli (2005), Schumacher *et al.* (2011) e Caldeira *et al.* (2015) em povoamentos de Araucária. Para biomassa de Floresta Ombrófila Mista, é importante ressaltar os trabalhos de Socher *et al.* (2008), em área de Floresta Aluvial, Watzlawick *et al.* (2012) e Ratuchner (2015). Vale salientar ainda trabalhos que abordaram estimativas de biomassa para uma única espécie florestal, como os de Thompson (2009) com *Sclerolobium paniculatum*, Giongo *et al.* (2011) com *Pinus elliottii* e Melo *et al.* (2014) com *Tabebuia cassinoides*.

Portanto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a biomassa seca de *Araucaria angustifolia* nativa de fragmentos de Floresta Ombrófila Mista, bem como conhecer a distribuição nos compartimentos da árvore e, desenvolver modelos para estimar a massa seca parcial e aérea total a partir de variáveis dendrométricas de fácil obtenção.

## 3.2 - MATERIAL E MÉTODOS

### 3.2.1 - Coleta de dados

Conforme apresentado no capítulo 1, para o presente trabalho utilizou-se dados coletados em 30 indivíduos de *Araucaria angustifolia* manejados em fragmentos florestais de Floresta Ombrófila Mista pelo Projeto de Pesquisa e Extensão “Imbituvão” do Departamento de Engenharia Florestal da UNICENTRO.

Para todos os indivíduos foram coletadas as seguintes variáveis em campo: Diâmetro à altura do peito (DAP), altura total, altura comercial ou altura no início da copa e comprimento de copa. Também foram mensurados os raios de copa nos quatro principais pontos cardeais (N, S, L e O) por meio da projeção da copa com auxílio de bússola.

### 3.2.2 - Cubagem

A cubagem foi necessária para extrapolar a biomassa com casca, de cada árvore, por meio da densidade básica média do fuste e do tronco inerente à copa. Os pontos de coleta dos diâmetros ao longo do fuste para a cubagem foram definidos de forma relativa, tomando-se medidas de diâmetro com casca a 0,1, 0,7 e 1,3 m e, a partir daí, a 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85 e 95% da altura total. Ainda, foram coletados a altura e o diâmetro do início da copa, considerando este onde havia ao menos dois galhos vivos. Para a cubagem, foi utilizada a fórmula de Smalian, sendo a última seção considerada como um cone. O volume total do fuste com casca consistiu no somatório do volume das seções cubadas até a altura de início da copa, e para o tronco inerente à copa o volume total consistiu no somatório do volume das seções cubadas a partir do início da copa e o cone terminal. As fórmulas utilizadas são apresentadas a seguir:

$$v = \left( \frac{g_1 + g_2}{2} \right) \times l$$

$$v_p = \frac{g_n \times l_p}{3}$$

**Em que:**  $v$ : Volume da seção, em m<sup>3</sup>;  $v_p$ : Volume da ponta, em m<sup>3</sup>;  $g_1$ : área transversal na base da seção, em m<sup>2</sup>;  $g_2$ : área transversal no topo da seção, em m<sup>2</sup>;  $g_n$ : área transversal na base do cone terminal, em m<sup>2</sup>;  $l$ : Comprimento da seção em m;  $l_p$ : Comprimento da ponta, em m.

### 3.2.3 - Densidade do fuste e tronco inerente à copa e teor de umidade

Para o fuste, foram retirados três discos, com casca, com cerca de 5 cm de espessura nas alturas relativas de 0, 50 e 100% da altura comercial, enquanto que para o tronco inerente à copa foi retirada um único segmento, com comprimento variável, no meio da copa de forma

que contemplasse um verticilo e um espaço entre verticilos para melhor representatividade. Estas amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e pesadas em laboratório em uma balança de mesa com capacidade de 30 kg.

Em seguida, os volumes das amostras retiradas foram mensurados por meio de deslocamento de água com o auxílio de um xilômetro. Após a determinação do volume, as amostras foram condicionadas em estufa com ventilação forçada a 75 °C por aproximadamente 7 dias ou de forma que apresentassem massa constante, sendo as massas secas mensuradas. Finalmente, foi efetuado o cálculo de densidade para cada disco e para o segmento da copa, sendo que para a densidade de fuste, considerou-se a média das densidades dos três discos para cada árvore. A fórmula da densidade é apresentada a seguir.

$$\rho = \frac{Ms}{V}$$

**Em que:**  $\rho$ : Densidade básica em g/cm<sup>3</sup> ou kg/m<sup>3</sup>;  $Ms$ : Massa seca da amostra com casca, em g ou Kg;  $V$ : Volume da amostra com casca, em cm<sup>3</sup> ou m<sup>3</sup>.

Ainda, foi realizado o teste “t” para avaliar possíveis diferenças estatísticas entre a densidade do segmento do tronco inerente à copa e dos discos do fuste.

Com a massa verde e a massa seca, determinou-se o teor de umidade para cada amostra por meio da seguinte fórmula:

$$TU(\%) = \frac{(Mv - Ms)}{Mv} \cdot 100$$

**Em que:**  $TU(\%)$ : Teor de umidade, em porcentagem;  $Mv$ : Massa da amostra verde, em g;  $Ms$ : Massa da amostra seca, em g.

### 3.2.4 - Biomassa total e parcial de Araucária

#### 3.2.4.1 - Biomassa do fuste e do tronco inerente à copa

Levando em consideração os resultados obtidos para as densidades básicas médias com casca do tronco inerente à copa e do fuste comercial de cada árvore, bem como da cubagem destes compartimentos da árvore, obteve-se a massa seca com casca conforme a seguinte expressão:

$$Ms = \rho \cdot V$$

**Em que:**  $Ms$ : Massa seca de fuste comercial ou do tronco inerente a copa com casca, em kg;  $\rho$ : Densidade básica média do fuste comercial ou do tronco inerente a copa com casca, em kg.m<sup>-3</sup>;  $V$ : Volume cubado de fuste comercial ou do tronco inerente a copa com casca, em m<sup>3</sup>.

### 3.2.4.2 - Biomassa dos galhos e das grimpas

Após o corte dos indivíduos selecionados, foram mensuradas as circunferências dos nós de todos os galhos vivos. Isto foi repetido para todas as árvores trabalhadas. Após esta mensuração, considerou-se esta variável coletada como variável independente e utilizou-se dos melhores modelos propostos no capítulo 2 para a estimativa de massa seca de galho e grimpa em função apenas da circunferência da base do galho que, neste caso, correspondeu a circunferência do nó, pois a maioria dos galhos quebraram com a queda da árvore e, então, foram estimadas suas massas secas. As equações utilizadas estão apresentadas na Tabela 22.

**TABELA 22:** EQUAÇÕES UTILIZADAS PARA ESTIMATIVA DA MASSA SECA DE GALHO E GRIMPA

	<b>Equações ajustadas</b>	<b>R<sup>2</sup><sub>adj</sub></b>	<b>Syx%</b>
Galho	$MSga = (-0,1274 + 0,2039 \cdot \ln(Circf^2))^{\frac{1}{0,1010}}$	0,925	25,74
Grimpa	$MSgr = (-0,1947 + 0,2943 \cdot \sqrt{Circf})^{0,5}$	0,332	46,73

**Em que:** *MSga*: Massa seca do galho, em kg; *MSgr*: Massa seca de grimpa, em kg; *Circf*: Circunferência a 0% do comprimento do galho, em cm; *Ln*: Logaritmo Neperiano.).

### 3.2.4.3 - Biomassa aérea parcial e total

Para a biomassa aérea parcial, consideraram-se três compartimentos, sendo os compartimentos grimpas e galhos estimados por meio de equações, e o fuste obtido por meio do somatório da massa seca do fuste com casca e o tronco inerente à copa com casca, extrapolada pela densidade básica média.

Para a biomassa individual total, efetuou-se o somatório da massa seca de fuste e tronco inerente a copa bem como os valores obtidos pelas estimativas de massa seca de galho e grimpa por meio das equações.

### 3.2.5 - Modelagem da biomassa aérea de Araucária

Para as estimativas da biomassa de Araucária, inicialmente realizou-se uma matriz de correlação simples, utilizando a correlação de Pearson, entre as variáveis coletadas em campo (DAP, altura total, altura comercial, comprimento de copa e raios de copa) e a biomassa total e parcial de Araucária.

Posteriormente, foi proposto um modelo de regressão linear simples com a variável mais correlacionada com a massa seca por compartimento (galhos, grimpas e fuste com casca) e para a biomassa aérea total. Esses modelos foram comparados aos modelos de Spurr, na forma normal, e Berkhout e Schumacher-Hall, na forma linearizada, conforme apresentado na Tabela 23.

**TABELA 23:** MODELOS AVALIADOS PARA ESTIMATIVA DE MASSA SECA PARCIAL E TOTAL AÉREA DE ARAUCÁRIA

Modelos		
1	Proveniente da Correlação	$MS = \beta_0 + \beta_1.Var$
2	Spurr	$MS = \beta_0 + \beta_1 . (DAP^2.ht)$
3	Berkhout	$Ln(MS) = \beta_0 + \beta_1.Ln(DAP)$
4	Schumacher-Hall	$Ln(MS) = \beta_0 + \beta_1.Ln(DAP) + \beta_2.Ln(ht)$

**Em que:** *MS*: Massa seca de galhos, grimpas, fuste ou total, em Kg; *Var*: Variável de maior correlação; *DAP*: Diâmetro a altura do peito, em cm; *ht*: Altura total, em m; *Ln*: Logaritmo Neperiano;  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$ : Coeficientes ajustados por regressão linear.

### 3.2.6 - Seleção de melhor modelo

A seleção do melhor modelo de regressão foi baseada nos resultados do coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{adj}$ ) e erro padrão da estimativa absoluto e relativo ( $S_{yx}$  e  $S_{yx}\%$ ). Para os modelos logaritimizados, os erros foram recalculados de acordo com a variável de interesse (kg) utilizando o Fator de Correção de Meyer (FCM) para corrigir a discrepância logarítmica, além do cálculo do Índice de Schlaegel (IA), sendo este compatível ao  $R^2$  para modelos em que a variável dependente não foi transformada. As expressões utilizadas são apresentadas a seguir.

$$IA = 1 - \frac{SQ_{Res}}{SQ_{Tot}}$$

$$R^2_{adj} = 1 - (1 - IA) \cdot \left( \frac{n-1}{n-p} \right)$$

$$S_{yx} = \sqrt{QMres}$$

$$S_{yx}\% = \frac{S_{yx}}{\bar{Y}} \times 100$$

$$FCM = e^{0,5 \cdot QMres}$$

**Em que:** *IA*: Índice de Schlaegel ou Coeficiente de Determinação; *SQ<sub>Res</sub>*: Soma dos Quadrados dos Resíduos; *SQ<sub>Tot</sub>*: Soma dos Quadrados Totais; *R<sup>2</sup><sub>adj</sub>*: Coeficiente de Determinação Ajustado; *n*: número de observações; *p*: número de coeficientes do modelo; *S<sub>yx</sub>*: Erro Padrão da Estimativa Absoluto, em Kg; *S<sub>yx</sub>%*: Erro Padrão da Estimativa Relativo, em porcentagem; *QMres*: Quadrado Médio do Resíduo;  $\bar{Y}$ : Valor da média observado; *FCM*: Fator de Correção de Meyer; *e*: base dos logaritmos neperianos.

Finalmente, gráficos com a dispersão dos resíduos foram elaborados a fim de verificar tendências nas estimativas. Os resíduos foram determinados da seguinte forma:

$$Res = Y_i - \hat{Y}_i$$

$$Res\% = \frac{(Y_i - \hat{Y}_i)}{Y_i} \times 100$$

**Em que:** *Res* = Resíduo absoluto; *Res%* = Resíduo em porcentagem; *Y<sub>i</sub>* = Valor observado;  $\hat{Y}$  = Valor estimado.

O modelo selecionado foi o que apresentou o Coeficiente de Determinação Ajustado mais elevado, erro padrão da estimativa mais baixo e homogeneidade na distribuição dos resíduos. Para todos os cálculos foi utilizado o *software* Excel®.

### 3.3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.3.1 - Estatísticas da amostra

As estatísticas das 30 árvores amostradas estão apresentadas na Tabela 24 e foram agrupadas em classes de 10 cm de diâmetro, amplitude bastante usual para a espécie ou para inventários em florestas. Das 30 árvores avaliadas, 17 foram do sexo masculino e 13 do feminino. A altura média total foi de 22,25 m, e o DAP médio foi de 51,98 cm. Em relação ao comprimento de copa, a maior classe de DAP apresentou quase o dobro de dimensão em relação a menor classe (3,93 m contra 2,14 m), sendo que o comprimento de copa médio total avaliado foi de 2,68 m. Esta dimensão do comprimento de copa refletiu na quantidade de galhos em que a menor classe teve quase 20 galhos a menos, em média, que a maior classe de DAP. O raio de copa médio da amostra foi de 5,4 m e o volume total individual médio com casca da amostra foi de 2,9473 m<sup>3</sup>.

**TABELA 24:** VALORES MÉDIOS DAS VARIÁVEIS COLETADAS EM CAMPO

<i>Centro de Classe de DAP (cm)</i>	<i>n</i>		<i>DAP médio (cm)</i>	<i>Ht média (m)</i>	<i>Hc média (m)</i>	<i>Cc médio (m)</i>	<i>Rc médio (m)</i>	<i>V médio (m<sup>3</sup>)</i>	<i>Nº de galhos Médio</i>
	<i>M</i>	<i>F</i>							
45	9	3	44,53	20,95	18,81	2,14	4,8	1,9403	49
55	7	7	54,63	22,86	20,06	2,80	5,7	3,3243	64
65	1	3	65,06	24,03	20,10	3,93	6,3	4,6491	68
<b>Média ponderada</b>			51,98	22,25	19,57	2,68	5,4	2,9473	59

**Em que:** *n*: número de indivíduos avaliados; *M*: Indivíduos masculinos; *F*: Indivíduos femininos; *Ht*: Altura total; *Hc*: Altura comercial ou altura de início da copa; *Cc*: Comprimento de copa; *Rc*: Raio de Copa; *V*: Volume médio.

#### 3.3.2 - Densidade

A densidade básica média do fuste e do segmento de copa foi de 497,55 e 486,10 kg.m<sup>-3</sup>, respectivamente, enquanto o teor de umidade médio foi 52,82 e 54,31%, respectivamente, conforme apresentado na Tabela 25.

**TABELA 25:** DENSIDADE BÁSICA MÉDIA DO FUSTE E DO TRONCO INERENTE A COPA

<i>Estatísticas</i>	$\rho$ <i>fuste</i> (kg.m <sup>-3</sup> )	<i>TU fuste</i> (%)	$\rho$ <i>copa</i> (kg.m <sup>-3</sup> )	<i>TU copa</i> (%)
<i>Média</i>	497,55	52,82	486,10	54,31
<i>Max</i>	587,50	57,53	568,00	58,69
<i>Min</i>	436,18	45,19	399,02	48,90
<i>s</i>	32,51	2,78	37,43	2,43
<i>CV (%)</i>	6,53	5,27	7,70	4,47
<i>IC (95%)</i>	± 12,14	± 1,04	± 13,98	± 0,91

**Em que:**  $\rho$ : Densidade básica média; *TU*: Teor de umidade; *Max*: Valor máximo encontrado; *Min*: Valor Mínimo encontrado; *s*: Desvio padrão; *CV*: Coeficiente de Variação; *IC (95%)*: Intervalo de Confiança para a média.

Conforme os resultados do teste “t” para inferir possível diferença estatística entre as médias da densidade da copa e do fuste, as duas densidades podem ser consideradas equivalentes a 5% de significância, pois o p-valor foi superior ao  $\alpha$  estabelecido ( $\alpha > 0,05$ ). Desta forma, não se rejeitou a hipótese nula ( $H_0$ ), sendo as médias consideradas equivalentes. Na Tabela 26 são apresentados os resultados do teste “F”, que apresentou variâncias equivalentes ao nível de 5% de significância, e do teste “t” presumindo essa condição.

**TABELA 26:** RESULTADO DO TESTE “F” E TESTE “T” PARA AS DENSIDADES DO FUSTE E DO TRONCO INERENTE A COPA

	Teste F (S <sup>2</sup> )		Teste t ( $\bar{x}$ )
f calc	1,3261	t calc	1,2651
f tab	1,8608	t tab	2,0017
p-valor	0,2260	p-valor	0,2109

Como os discos do fuste são provenientes parcialmente de madeira mais velha que a da copa e com anéis de crescimento mais próximos (menores taxas de crescimento), provavelmente isto causou a equivalência com o segmento do fuste que contém os nós (material mais denso), pois, o segmento foi composto de um verticilo em que se encontrava os nós e um espaço entre os verticilos, que é formado por madeira jovem da copa com menor densidade em relação a madeira mais velha, conforme relatado por Wehr e Tomazello (2000) que determinaram a densidade básica da madeira juvenil e adulta de Araucária como 370 e 520 kg.m<sup>-3</sup>, respectivamente. Estes mesmos autores encontraram densidade média para biomassa de Araucária com casca variando entre 300 e 500 kg.m<sup>-3</sup>, sendo que para o lenho, a densidade variou entre 400 e 500 kg.m<sup>-3</sup>, enfatizando a maior variabilidade nos valores de densidade quando a casca é incluída.

De acordo com Lorenzi (2008), a densidade da madeira da Araucária é de  $0,55 \text{ g.cm}^{-3}$  ( $550 \text{ kg.m}^{-3}$ ), valor este, diferente ao encontrado no presente trabalho pelo fato desse autor considerar apenas a madeira, sem casca, além de não citar a idade ou a dimensão da árvore em que foram obtidos estes resultados. Carvalho (2003) considera que a madeira de Araucária não é pesada e apresenta densidade entre  $0,50$  e  $0,61 \text{ g.cm}^{-3}$  ( $500$  e  $610 \text{ kg.m}^{-3}$ ).

Os valores encontrados no presente estudo estão muito próximos aos relatados por Wehr e Tomazello (2000), porém, Tomaselli (2005) relatou que, para povoamentos de Araucária com idades entre 19 e 34 anos, a densidade média da biomassa de fuste, com casca, foi de  $0,58 \text{ g.cm}^{-3}$  ( $580 \text{ kg.m}^{-3}$ ), resultado consideravelmente superior ao encontrado no presente trabalho. Estas variações de densidade podem estar relacionadas a diferentes condições de sítios e idades das árvores, além da metodologia da coleta de dados.

### 3.3.3 - Biomassa de Araucária

Em média, a menor classe de diâmetro (Classe 45) apresentou os maiores valores relativos para massa seca de fuste e de grimpas, comparando com as outras duas classes. Para a massa de galho, a classe 65 foi a que apresentou os maiores valores relativos, provavelmente pelo maior porte dos galhos dessas árvores. Para a média geral de todas as árvores, 23,0% da massa seca total dos indivíduos avaliados foi proveniente de galho (18,26%) e grimpas (4,74%) e 77,0% do fuste com casca conforme apresentado na Tabela 27.

**TABELA 27:** VALORES MÉDIOS, ABSOLUTOS E RELATIVOS, DA MASSA SECA DOS COMPARTIMENTOS AVALIADOS POR CLASSE DE DAP

Centro de Classe de DAP (cm)	Fuste com casca		Galho		Grimpa		Total (kg)
	(kg)	(%)	(kg)	(%)	(kg)	(%)	
45	978,04	79,22	191,27	15,49	65,23	5,28	1234,54
55	1620,22	76,00	409,44	19,21	102,17	4,79	2131,82
65	2310,58	76,70	582,38	19,33	119,42	3,96	3012,38
<b>Média ponderada</b>	1455,39	77,00	345,23	18,26	89,69	4,74	1890,32

Watzlawick *et al.* (2003) descreveram que, para um povoamento de *Araucaria angustifolia* de 30 anos com DAP médio de 26,7 cm e altura média de 18,9 m, 21,96% da massa seca aérea total registrada foi proveniente de galho (13,81%) e grimpas (8,15%) enquanto que 76,59% foi resultado de lenho e casca e o restante foi de galhos mortos. Ainda, Caldeira *et al.* (2015), também para estudos de biomassa por unidade de área em povoamentos de *Araucaria angustifolia* com 32 anos, relataram que 18,5% da massa seca aérea total foi oriunda de galhos, 7,1% de grimpas e 72,4% de lenho e casca, sendo o restante

de galhos mortos. Estes resultados, mesmo sendo para árvores de menor porte e oriundos de plantios, foram muito próximos aos obtidos no presente trabalho conforme apresentado na Tabela 27. Porém, vale ressaltar que a metodologia empregada foi diferente, pois para o presente estudo foi utilizado equações ajustadas e densidade básica média enquanto que esses autores realizaram o método direto de coleta de dados, ou seja, pesagem em campo do material.

Tomaselli (2005) inferiu que, para povoamento de Araucária com 34 anos, 80% de massa aérea seca total foi proveniente do fuste com casca (incluindo o tronco inerente à copa) enquanto que para os galhos, o valor foi de 13,61% e para as grimpas, 6,38%. Esse autor também utilizou de dados de densidade de biomassa para estimativa da massa seca do fuste, porém com outra metodologia em que, o volume da amostra para densidade foi obtido por meio de cubagem e não deslocamento de água utilizando o xilômetro como no presente trabalho. Da mesma forma, as quantidades relativas de massa seca dos compartimentos também foram próximos aos valores encontrados neste estudo. Krapfenbauer e Andrae (1983) pesquisando biomassa de um povoamento de 17 anos de *Araucaria angustifolia* na Floresta Nacional de Passo Fundo descreveram que 72% da biomassa aérea total foi provenientes do fuste com casca, 8,9% de galhos vivos e 14,6% de ramos foliares, sendo o restante proveniente de ramos foliares mortos. Esta quantidade elevada de ramos foliares pode estar relacionada ao estágio de vida das árvores, por tratar-se de indivíduos consideravelmente jovens ainda estavam produzindo grande quantidade de material fotossintético (ramos foliares) para seu desenvolvimento.

Em relação a Floresta Ombrófila Mista, Socher *et al.* (2008) em fragmento de floresta Aluvial, relataram que a madeira com casca compreendeu 57,2% de toda a biomassa aérea desta fitofisionomia, seguida dos galhos que, somando grossos e finos, 40,3% do total foi resultado deste compartimento. Esses autores descreveram, ainda, que 2,1% da biomassa aérea total foram oriundas de folhas, e, o restante (0,4%) foi proveniente de epífitas vasculares e avasculares, frutos, sementes e outros materiais orgânicos. Watzlalawick *et al.* (2012) consideraram em Floresta Ombrófila Mista Montana que 42,85% da massa seca total, incluindo raízes, foi proveniente de fuste e casca, 37,23% de galhos vivos e 2,02% de folhas e, por fim, os demais compartimentos (galhos mortos, raízes e miscelânea) somaram 17,9%.

Assim, é importante destacar que, para a floresta, os valores relativos são consideravelmente diferentes de quando se trata de apenas uma espécie, como é o caso do presente estudo, pois a massa de galhos, por exemplo, é notavelmente mais expressiva nos valores totais para unidade de área devido à morfologia da Araucária, que apresenta galhos

principalmente no dossel da floresta enquanto que em fragmentos com diversas espécies pode haver galhos de grandes dimensões a partir da base.

A matriz de correlação simples (Tabela 28) indicou que a variável mensurada em campo com maior afinidade com a massa seca de galhos, fuste e total aérea da Araucária foi o DAP com valores de 0,79, 0,95 e 0,93, respectivamente, seguido do comprimento de copa. Entretanto, para as grimpas, a variável comprimento de copa apresentou resultado superior ao DAP com índice de 0,76 e 0,73, respectivamente. Esta maior correlação da massa seca de grimpas com o comprimento de copa pode estar equivocada devido à metodologia empregada para esta estimativa, pois a equação utilizada apresentava baixo Coeficiente de Determinação Ajustado ( $R^2_{adj} = 0,332$ ) e elevado erro relativo (46,73%). De qualquer forma, é importante destacar a boa correlação desta variável com a massa seca total e parcial de Araucária, pois para os demais compartimentos, o comprimento de copa também foi representativo.

**TABELA 28:** MATRIZ DE CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE AS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E A MASSA SECA AÉREA TOTAL E PARCIAL

	<i>DAP</i>	<i>Ht</i>	<i>Hc</i>	<i>Cc</i>	<i>Raio N</i>	<i>Raio O</i>	<i>Raio S</i>	<i>Raio L</i>	<i>MS Galho</i>	<i>MS Grimpa</i>	<i>MS Fuste</i>	<i>MS Total</i>
<i>DAP</i>	1,00											
<i>Ht</i>	0,56	1,00										
<i>Hc</i>	0,39	0,90	1,00									
<i>Cc</i>	0,59	0,72	0,34	1,00								
<i>Raio N</i>	0,17	0,16	0,05	0,26	1,00							
<i>Raio O</i>	0,43	0,43	0,35	0,37	0,32	1,00						
<i>Raio S</i>	0,56	0,43	0,29	0,47	0,25	0,61	1,00					
<i>Raio L</i>	0,24	0,40	0,33	0,33	0,24	0,27	0,29	1,00				
<i>MS Galho</i>	0,79	0,51	0,24	0,71	0,37	0,47	0,55	0,45	1,00			
<i>MS Grimpa</i>	0,73	0,58	0,30	0,76	0,33	0,41	0,56	0,43	0,95	1,00		
<i>MS Fuste</i>	0,95	0,67	0,47	0,69	0,19	0,45	0,58	0,29	0,85	0,83	1,00	
<i>MS Total</i>	0,93	0,65	0,42	0,72	0,25	0,47	0,59	0,35	0,92	0,89	0,99	1,00

**Em que:** *MS*: Massa seca; *N, O, S, L*: Pontos cardeais

### 3.3.4 - Modelagem de biomassa parcial e total aérea de Araucária

Conforme relatado anteriormente, o DAP foi a variável dendrométrica com maior correlação para a massa seca de galho, fuste com casca e total e, para a massa seca de grimpas, o comprimento de copa foi a variável mais correlacionada. Assim, elaborou-se a primeira equação para cada compartimento e para o total, utilizando essas variáveis e, posteriormente, compará-los aos modelos de Spurr, Berkhout e Schumacher-Hall. As equações e estatísticas dos ajustes das estimativas da massa seca parcial e total são apresentadas na Tabela 29.

Para as estimativas da massa seca de grimpas, o modelo de Spurr foi o que apresentou os melhores resultados, com  $R^2_{adj}$  de 0,552 e erro de 23,52%, porém, o coeficiente do intercepto ( $\beta_0$ ) foi não significativo para este modelo (p-valor = 0,0570). O modelo de Schumacher-Hall linearizado foi o segundo melhor, mas o coeficiente  $\beta_2$  também foi não significativo (p-valor = 0,0696) sendo que, ao retirá-lo, o modelo assumiu a mesma forma do modelo de Berkhout.

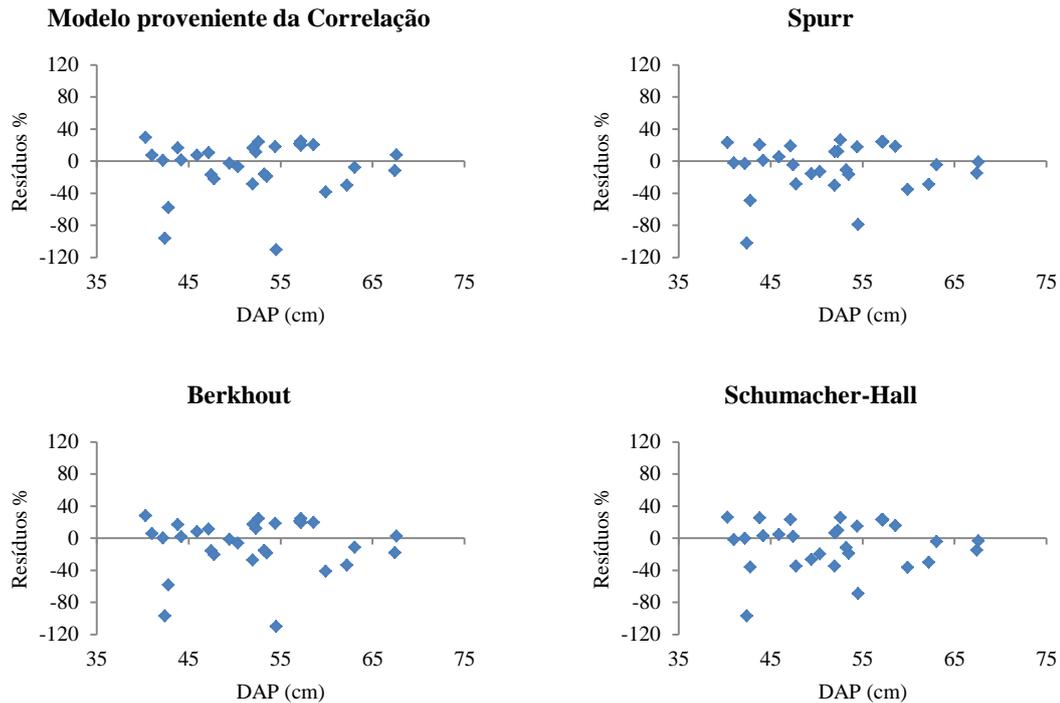
**TABELA 29:** EQUAÇÕES PARA A ESTIMATIVA DE MASSA SECA PARCIAL E TOTAL AÉREA DE ARAUCÁRIA

Componente	Equações	$R^2_{adj}$	Syx (kg)	Syx (%)
Grimpas	$MSgr = -67,4319^* + 3,0228^{**}.Cc$	0,515	21,957	24,48
	$MSgr = 23,1013^{ns} + 0,0011^{**}.(DAP^2.ht)$	0,552	21,092	23,52
	$Ln(MSgr) = -2,8635^* + 1,8510^{**}.Ln(DAP)$	0,503	22,220	24,77
	$Ln(MSgr) = -4,6609^{**} + 1,4082^{**}.Ln(DAP) + 1,1436^{ns}.Ln(ht)$	0,543	21,317	23,77
Galhos	$MSga = -694,7529^{**} + 20,0074^{**}.DAP$	0,604	121,854	35,30
	$MSga = -82,3888^{ns} + 0,0069^{**}.(DAP^2.ht)$	0,607	121,331	35,14
	$Ln(MSga) = -7,9018^{**} + 3,4397^{**}.Ln(DAP)$	0,537	131,749	38,16
	$Ln(MSga) = -10,1945^{**} + 2,8749^{**}.Ln(DAP) + 1,4587^{ns}.Ln(ht)$	0,530	132,634	38,42
Fuste	$MSfu = -1869,1358^{**} + 63,9578^{**}.DAP$	0,895	166,346	11,43
	$MSfu = 60,9397^{ns} + 0,0224^{**}.(DAP^2.ht)$	0,938	127,977	8,79
	$Ln(MSfu) = -1,7845^{**} + 2,2861^{**}.Ln(DAP)$	0,904	159,315	10,95
	$Ln(MSfu) = -3,1878^{**} + 1,9404^{**}.Ln(DAP) + 0,8927^{**}.Ln(ht)$	0,936	129,798	8,92
TOTAL	$MStot = -2631,3206^{**} + 86,9880^{**}.DAP$	0,855	271,712	14,37
	$MStot = 1,6522^{ns} + 0,0303^{**}.(DAP^2.ht)$	0,888	238,495	12,62
	$Ln(MStot) = -2,0679^* + 2,4217^{**}.Ln(DAP)$	0,857	269,765	14,27
	$Ln(MStot) = -3,5074^{**} + 2,0671^{**}.Ln(DAP) + 0,9158^{**}.Ln(ht)$	0,885	242,314	12,82

**Em que:** \* : Coeficiente significativo a 5%; \*\* : Coeficiente significativo a 1%; <sup>ns</sup>: Coeficiente não significativo; MS: Massa seca do compartimento, em kg; Cc: Comprimento de copa, em m; DAP: Diâmetro a altura do peito, em cm; ht: Altura total, em m; Ln: Logaritmo Neperiano.

O modelo com a variável dependente oriunda da matriz de correlação apresentou-se melhor apenas ao modelo de Berkhout, sendo este com os resultados menos satisfatórios ( $R^2_{adj} = 0,503$  e Syx = 24,77%), mas com valores próximos aos outros modelos. Os gráficos de dispersão dos resíduos mostram que os quatro modelos apresentaram distribuição semelhantes com tendência a superestimação dos valores ao longo de toda a amplitude dos dados conforme apresentado na Figura 19.

Em relação às estimativas para a massa seca de galho, o modelo linear simples composto com a variável independente mais correlacionada e o modelo de Spurr propiciaram resultados muito semelhantes com valores para  $R^2_{adj}$  de 0,604 e 0,607 e Syx de 35,30 e 35,14%, respectivamente. Entretanto, o coeficiente  $\beta_0$  para o modelo de Spurr também foi não significativo (p-valor = 0,2287) para esse compartimento.

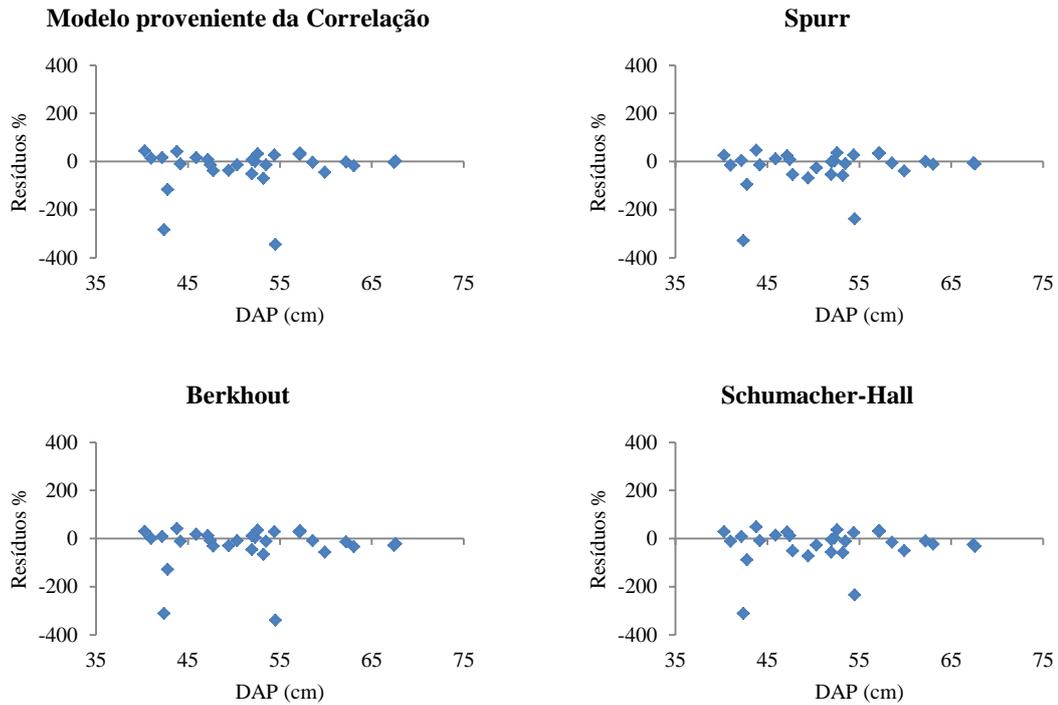


**FIGURA 19:** DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PARA A ESTIMATIVA DA MASSA SECA DE GRIMPA.

O modelo de Schumacher-Hall linearizado, em que se inseriu a altura como variável independente, obteve o menor  $R^2_{adj}$  (0,530) e maior Syx (38,42%) para estimativa de massa seca de galho além, de o coeficiente relacionado a altura ( $\beta_2$ ) não ter sido significativo na regressão (p-valor = 0,1927). De acordo com a distribuição de resíduos, os quatro modelos tiveram comportamento semelhantes com superestimação de poucos valores aleatórios. A Figura 20 demonstra a dispersão de resíduos para a massa seca dos galhos.

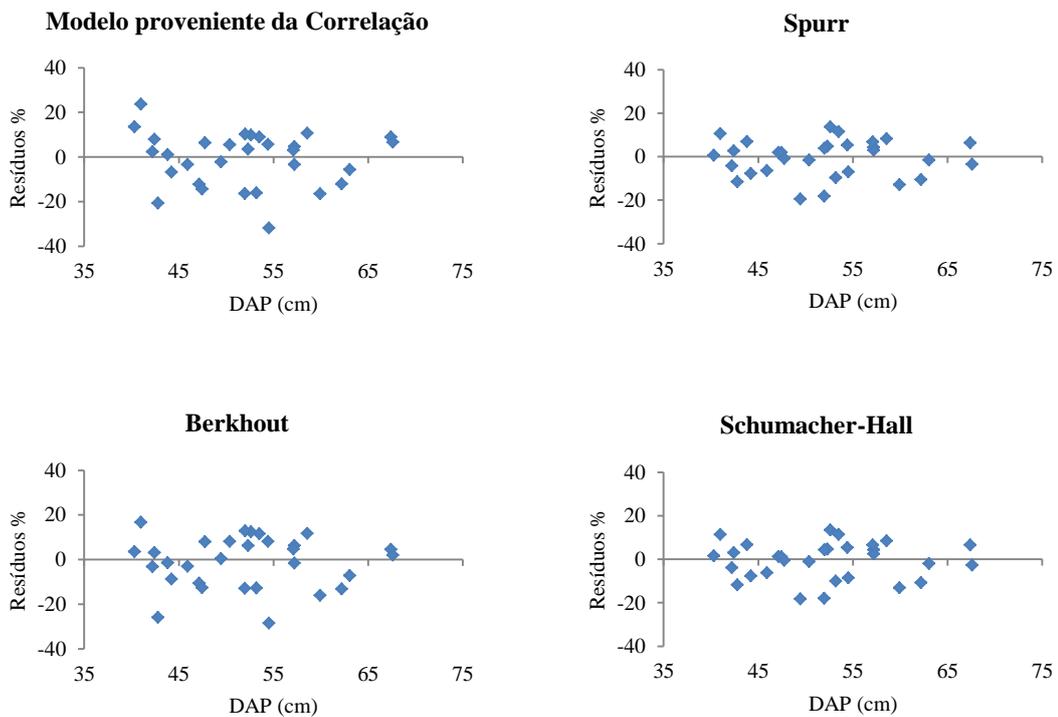
As estatísticas para a estimativa da massa seca de fuste foram as que apresentaram os melhores resultados com Coeficientes de Determinação ajustados acima de 0,90 para três modelos e erros inferiores a 10% para dois modelos. O modelo de regressão linear simples que utiliza apenas o DAP foi o que apresentou os piores resultados com  $R^2_{adj}$  de 0,895 e Syx de 11,43%. O modelo que melhor explicou a massa seca de fuste foi o de Spurr ( $R^2_{adj} = 0,938$  e Syx = 8,79%), todavia, o coeficiente  $\beta_0$  foi novamente não significativo (p-valor = 0,3955).

O Modelo de Schumacher-Hall linearizado apresentou resultados sutilmente inferiores ao de Spurr com  $R^2_{adj}$  de 0,936 e erro de 8,92% mas, todos os coeficientes foram significativos a 1% de probabilidade de erro. Ainda, estes dois modelos foram os que apresentaram maior homogeneidade na distribuição dos resíduos para estimativa de massa seca de fuste ao longo de toda a amplitude de dados conforme ilustrado na Figura 21.



**FIGURA 20:** DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PARA A ESTIMATIVA DA MASSA SECA DOS GALHOS.

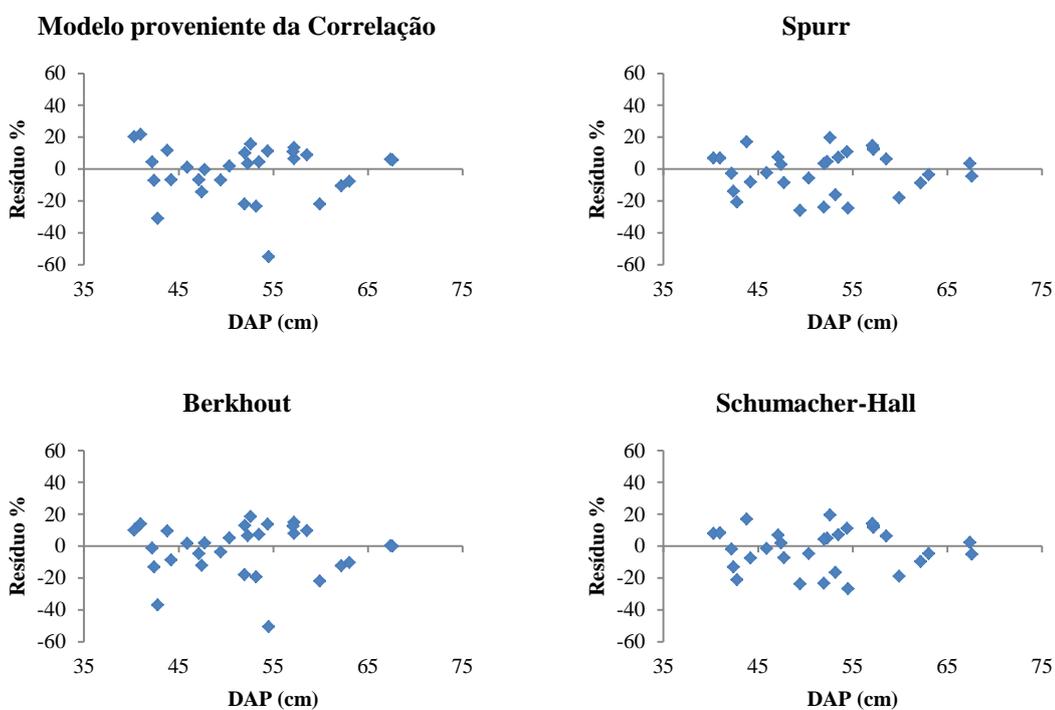
Em se tratando da estimativa da biomassa total aérea de Araucária, o modelo de Spurr também foi o que apresentou os resultados mais satisfatórios com  $R^2_{adj}$  de 0,888 e  $Sy_x$  de 12,62% mas, conforme apresentado em todos os compartimentos, o coeficiente  $\beta_0$  novamente não foi significativo (p-valor = 0,9901).



**FIGURA 21:** DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PARA A ESTIMATIVA DA MASSA SECA DE FUSTE.

O modelo de Schumacher-Hall apresentou resultados muito próximos ao de Spurr ( $R^2_{adj} = 0,885$  e  $Syx = 12,82\%$ ) e com todos os coeficientes significativos, assim como nas estimativas da massa seca de fuste. Ainda, é importante destacar que, o modelo ajustado que utilizou apenas o DAP em seu valor absoluto para a estimativa da massa seca total de Araucária, obteve resultados pouco discrepantes em relação aos demais modelos citados, com  $R^2_{adj}$  de 0,855 e  $Syx$  de 14,37%. A vantagem desse modelo é a não utilização da altura para a estimativa, pois essa variável pode ser facilmente sub ou superestimada em medições a campo.

Assim como para as estimativas da massa seca do fuste, para o total, os resíduos mais homogêneos foram encontrados nos modelos de Spurr e Schumacher-Hall sendo os dois outros modelos apresentando pequena tendência a superestimação dos valores como pode ser visto na Figura 22.



**FIGURA 22:** DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PARA A ESTIMATIVA DA MASSA SECA AÉREA TOTAL DE ARAUCÁRIA.

Em relação a ajustes de biomassa de Araucária, Schumacher *et al.* (2011) relataram que, em estudo de produção de biomassa no corte raso em plantio de *Araucaria angustifolia* de 27 anos, o modelo de Berkhout foi o mais adequado para estimativas de massa seca aérea total e para galhos sendo o  $R^2_{adj}$  encontrado de 0,965 e 0,899 e  $Syx$  de 1,91 e 5,58%, para esses compartimentos, respectivamente.

Para as grimpas, o melhor modelo apresentou como variável independente o inverso do DAP e dependente a massa seca linearizada com  $R^2_{adj}$  de 0,931 e erro de 5,57%. Esses mesmos autores encontraram resultados superiores ao do presente trabalho sendo que a

metodologia utilizada por eles foi a direta, com pesagem de todo o material, entretanto, tratam-se de dados oriundos de povoamento com 27 anos, podendo haver, naturalmente, diferenças em relação ao presente estudo com árvores nativas de maiores dimensões.

Para povoamento de *Araucaria angustifolia* de 17 anos em Passo Fundo, RS, Krapfenbauer e Andrae (1983), encontraram para a estimativa de biomassa de grimpas  $R^2$  de 0,861, para galhos vivos  $R^2$  de 0,960 e para biomassa aérea total 0,944. Esses autores citados utilizaram o Modelo de Berkhout na forma linearizada para tais chegarem a tais resultados conforme utilizado na presente pesquisa, porém os resultados encontrados foram um pouco inferiores, talvez devido à origem dos dados e a idade das árvores.

Ratuchne (2015) utilizando dados de 119 indivíduos de diversas espécies da Floresta Ombrófila Mista encontrou elevados Coeficientes de Determinação para estimativas de biomassa total geral variando entre 0,981 e 0,977 demonstrando boa qualidade do ajuste. Porém, este mesmo autor encontrou erros próximos aos 50% nesses mesmos ajustes, provavelmente ao fato de ter trabalhado com diversas espécies florestais.

Silva (2007) em estudo de biomassa aérea em floresta primária na Floresta Amazônica, testou sete modelos para estimativas desta variável. Entre estes modelos, os modelos de Berkhout e de Schumacher-Hall apresentaram ótimos resultados, com  $R^2$  de 0,97 e 0,98 e Syx de 7,64 e 4,21%, respectivamente. Essa autora ainda relatou que as equações de simples entrada foram eficientes para explicar a biomassa aérea, porém, para sítios com características diferentes, é interessante inserir a variável altura total no modelo ou combiná-la com a variável DAP.

Em área de cerrado no Distrito Federal, Thompson (2009) estudando *Sclerolobium paniculatum* var. *subvelutinum* concluiu que o modelo de Schumacher-Hall foi o mais preciso para as estimativas de massa seca de fuste e aérea total para essa espécie com Syx de 33,48 e 17,72% e  $R^2_{adj}$  de 0,911 e 0,974, respectivamente.

Vismara (2009), trabalhando com dez espécies de diferentes densidades no estado do Espírito Santo, concluiu que o modelo de Berkhout foi o que melhor representou a massa seca total geral para essas espécies. Para os galhos, esse mesmo autor concluiu que o referido modelo apresentou os melhores resultados enquanto que para o tronco e as folhas, o modelo de Schumacher-Hall foi o mais adequado.

Para a espécie *Tabebuia cassinoides* (Caixeta), Melo *et al.* (2014) em área de Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas em Guaratuba, Paraná, consideraram que o modelo de regressão simples com a variável independente DAP obteve o melhor ajuste para massa seca total, inclusive raízes, desta espécie. Lacerda *et al.* (2009) avaliaram diversos modelos para estimativa de massa seca de seis espécies, variando de quatro a nove anos, em área restaurada

do bioma Mata Atlântica no Estado de São Paulo. Esses autores concluíram que as melhores estimativas para massa seca parcial e total foram para os modelos que incluíram apenas o DAP como variável independente sendo que, o modelo diamétrico linearizado foi o que apresentou os melhores resultados para a massa seca do fuste com casca e aérea total com  $R^2_{adj}$  de 0,8816 e 0,8656, respectivamente.

Para plantios comerciais, Giongo *et al.* (2011) avaliando biomassa verde de povoamento de *Pinus elliottii* com 23 anos, encontraram que o modelo de Spurr apresentou o melhor ajuste para o fuste e para o total aéreo com Coeficiente de determinação ajustado de 0,90 e 0,91, respectivamente. Para os galhos e acículas, esses autores definiram que o melhor ajuste foi o polinômio de terceiro grau em que o DAP foi utilizado em sua forma normal, quadrática e cúbica. Para esse modelo, os  $R^2_{adj}$  encontrados foram de 0,92 para os galhos e 0,80 para as acículas.

### 3.4 - CONCLUSÕES

- Para a massa seca aérea total, mais de três quartos foi oriundo do fuste com casca, seguido dos galhos e, por fim, das grimpas.
- Não houve diferença estatística entre a densidade do segmento do tronco inerente à copa e àquela obtida pela média dos discos do fuste devido ao segmento ser composto por um verticilo (onde ocorre os nós e possui alta densidade) e um entre verticilo (com madeira jovem da copa de baixa densidade) balanceando a densidade e tornando-a equivalente a dos discos do fuste.
- A variável dendrométrica mais correlacionadas com a massa seca de galho, fuste com casca e total foi o DAP, enquanto que o comprimento de copa foi para as grimpas.
- Para os modelos avaliados, Spurr apresentou os resultados mais satisfatórios para as estimativas de massa seca parcial e total de Araucária, porém em nenhum compartimento o coeficiente  $\beta_0$  foi significativo. Para as grimpas, o modelo mais adequado foi o de simples entrada com comprimento de copa como variável independente. Para as estimativas da massa seca de galho, o melhor modelo foi o de simples entrada com o DAP em seu valor absoluto como variável independente e, para o fuste e para o total, o Modelo de Schumacher-Hall linearizado apresentou resultados mais adequados.

### 3.5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATES, D. M.; WATTS, D. G. **Nonlinear regression analysis and its applications**. 2ª ed, New York, NY, 371p, 1988.

BRACK, P.; GRINGS, M. *Araucaria angustifolia* - Pinheiro-brasileiro – Potencial madeireira. In: CONRADIN, L.; SIMINSKI, A.; REIS, A. **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: Plantas para o futuro – Região Sul**. Brasília, MMA, 2011.

BROWN, S.; GILLESPIE, A.J.R.; LUGO, A.E. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. **Forest Science**, Lawrence, v.35, p.881-902, 1989.

CALDEIRA, M. V. W.; WATZLAWICK, L. F.; VIEIRA, M.; BALBINOT, R.; CASTRO, K. C. Biomassa e carbono orgânico em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 4, p. 1027-1034, out-dez., 2015.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras**. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1039p, 2003.

GARDNER, R.H.; MANKIN, J.B. Analysis of biomass allocation in forest ecosystems of the IBP. In: REICHLE, P.D. **Dynamic properties of forest ecosystems**. Cambridge: Cambridge University Press. 1981. p.451-497.

GIONGO, M.; SILVA, D. B.; KOEHLER, H. S.; MARCHETTI, M. Inventário de biomassa em um plantio de *Pinus elliottii* engelm. Aos 23 anos de idade. **J. Biotec. Biodivers**. v. 2, n. 3; p 81-86, Ago. 2011.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R.J.; MINETTE, L.; BIOT, Y. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia Brasileira. **Acta Amazônica**, Manaus, v.28, n.2, p.153-166, 1998.

KRAPFENBAUER, A.; ANDRAE, A. *Araucaria angustifolia*, *Podocarpus lambertii* e *Eucalyptus saligna*. **Pesquisas Austro-Brasileiras**. Universität für Bodenkultur Wien, Viena, Áustria. 1983.

LACERDA, J. S.; COUTO, H. T. Z.; HIROTA, M. M.; PASISHNYK, N.; POLIZEL, J. L. Estimativa de biomassa e carbono em áreas restauradas com plantio de essências nativas. **METRVM**, São Paulo, SP, n. 5, 2009.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. Vol. 1, 5ª ed; Nova Odessa, SP, 2008.

MELO, L. C.; SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; HENTZ, A. M. K. Estimativa de biomassa e carbono total para árvores de caixeta no Paraná. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 34, n. 77, p. 21-29, jan./mar. 2014.

RATUCHNER, L. C. **Biomassa e carbono: equações e dinâmica em fragmentos de Floresta Ombrófila Mista no Paraná**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), UFPR, Curitiba, PR, 2015.

- SANQUETTA, C. R. Metodologias para determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Eds.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: UFPR, 2002.
- SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R.; CALIL, F. N.; LOPES, V. G.; VIEIRA, M. Produção de biomassa no corte raso em plantio de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze de 27 anos de idade em Quedas do Iguaçu, PR. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 53-62, jan./mar. 2011.
- SILVA, R. P. **Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de Florestas Primárias e Secundárias na região de Manaus (AM)**. Tese (Doutorado em Biologia Tropical e Recursos Naturais), UFAM/INPA, Manaus, AM, 2007.
- SILVA, C. V. [et al...]. *Araucaria angustifolia* – Pinheiro-brasileiro – Potencial alimentícia. *Araucaria angustifolia* - Pinheiro-brasileiro – Potencial madeireira. In: CONRADIN, L.; SIMINSKI, A.; REIS, A. **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: Plantas para o futuro – Região Sul**. Brasília, MMA, 2011.
- SOCHER, L. G.; RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F. Biomassa aérea de uma Floresta Ombrófila Mista Aluvial no município de Araucária (PR). **Floresta**, Curitiba, PR, v. 38, n. 2, abr./jun. 2008.
- THOMPSON, R. M. **Estimativas de volume, biomassa e carbono para o Carvoeiro (*Sclerolobium paniculatum* Vog. Var. *subvelutinum* Benth)**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), UnB, Brasília, DF, 2009.
- TOMASELLI, A. **Determinação de biomassa e carbono em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze em Caçador, Santa Catarina**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental ), FURB, Blumenau, SC. 2005.
- VISMARA, E. S. **Mensuração da biomassa e construção de modelos para construção de equações de biomassa**. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), USP-Esalq, Piracicaba, SP. 2009.
- WATZLAWICK, L. F.; CALDEIRA, M. V. W.; VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; GODINHO, T. O.; BALBINOT, R. Estoque de biomassa e carbono na Floresta Ombrófila Mista Montana, Paraná. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 95, p. 353-362, set. 2012.
- WATZLAWICK, L. F.; SANQUETTA, C. R.; ARCE, J. E.; BALBINOT, R. Quantificação de biomassa total e carbono orgânico em povoamento de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze no sul do Estado do Paraná, Brasil. **Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 1, n. 2, p. 63-68, abr./jun. 2003.
- WEHR, N. J.; TOMAZELLO FILHO, M. Caracterização dos anéis de crescimento de árvores de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze, através da microdensitometria de raios X. **Scientia Forestalis**, nº 58, p. 161-170, 2000.

#### 4 - EPÍFITAS VASCULARES EM *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze

##### RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi avaliar a riqueza e diversidade de epífitas vasculares em *Araucaria angustifolia* oriunda de florestas, bem como categorizá-las em zonas de amostragens verticais. Os dados foram obtidos de 30 indivíduos de *Araucaria angustifolia* sendo todos identificados e registrados de acordo com a zona vertical de amostragem, sendo estas, base (base até 1,3 m), fuste (1,3 m até base da copa) e copa (tronco inerente à copa e galhos). Foram levantados 2837 epífitas vasculares pertencentes a 25 espécies classificadas em 21 gêneros e sete famílias. A família Orchidaceae apresentou maior riqueza com 11 espécies, seguido de Polypodiaceae com sete espécies, Bromeliaceae e Piperaceae com duas espécies e as demais famílias, uma espécie cada. Em relação ao número de indivíduos, 54,38% do total pertence à família Polypodiaceae, 27,88% a Orchidaceae, 13,57% a Bromeliaceae, 2,82% a Piperaceae, 0,67% a Cactaceae, 0,25% a Hymenophyllaceae e 0,04% a Apiaceae. Das 25 espécies, 23 apresentaram-se como holoepífitas habituais e duas como holoepífitas acidentais. A copa apresentou maior riqueza de espécies (21) seguido da base (12) e do Fuste (10). A copa também apresentou maior abundância com 69,16% do total de indivíduos levantados. Do total de espécies, dez ocorreram apenas na copa, três apenas na base e nenhuma exclusiva do fuste, enquanto que seis espécies ocorreram nas três zonas de amostragem. As espécies *Microgramma squamulosa* e *Pleopeltis hirsutissima* foram as mais importantes de acordo com as duas metodologias avaliadas. É importante destacar a ocorrência de um indivíduo de *Centella asiatica*, pois é uma espécie exótica com potencial invasor e *Pabstiella varellae*, uma micro-orquídea considerada possivelmente endêmica do Rio Grande do Sul, porém ocorreu em mais da metade dos forófitos estudados e em grande abundância com 534 indivíduos. O Índice de Shannon encontrado foi de 2,202 e Pielou de 0,684. Para a suficiência amostral, a curva de acumulação de espécies apresentou tendência à estabilização enquanto que, para o método de intensidade de amostragem em inventários florestais, apresentou suficiência apenas se considerar o número de espécies e 20% de erro admissível. Para o número de indivíduos, deveria-se registrar mais 11 forófitos para o alcance da suficiência amostral para um erro admissível de 20%. Encontrou-se elevada riqueza e diversidade de epífitas vasculares em forófitos de *Araucaria angustifolia*, destacando-se a família Orchidaceae, sendo a copa o principal ambiente deste grupo de plantas, provavelmente pela condição proporcionada pelos galhos.

Palavras-chave: Floresta; Epífitas; Riqueza e diversidade; Zona vertical de amostragem;

## ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the richness and diversity of vascular epiphytes in native trees of *Araucaria angustifolia* as well as to categorize them in vertical sampling zones. The data of this research were from 30 individuals of *Araucaria angustifolia* in which all individuals were identified and registered according to the vertical sampling zone, being base (base up to 1.3 m), stem (1.3 m until crown base) and crown (stem inherent to crown and branches). There were 2.837 vascular epiphytes belonging to 25 species classified in 21 genera and seven families. The Orchidaceae family showed higher abundance with 11 species, followed by Polypodiaceae with seven species, Bromeliaceae and Piperaceae with two species and the other families, one species each. Regarding the number of individuals, 54.38% of the total belongs to the family Polypodiaceae, 27.88 % to Orchidaceae, 13.57 % to Bromeliaceae, 2.82 % to Piperaceae, 0.67 % to Cactaceae, 0.25 % to Hymenophyllaceae and 0.04% to Apiaceae. Among the 25 species, 23 presented as habitual holoepiphyte and two as accidental holoepiphyte. The crown showed the highest species richness (21) followed by the base (12) and the stem (10). The crown also showed greater abundance with 69.16 % of the total of individuals raised. Of the total number of species, ten occurred only in the crown, three only at the base and none at the stem, while six species occurred at the three sampling zones. The species *Microgramma squamulosa* and *Pleopeltis hirsutissima* were the most important according to the two methodologies evaluated. It is important to highlight the occurrence of an individual of *Centella asiatica*, as an exotic species with invading potential and *Pabstiella varellae*, a micro-orchid considered possibly endemic from Rio Grande do Sul, because it occurred in more than half of the studied forophytes and in great abundance with 534 individuals. The Shannon Index found was 2.202 and Pielou was 0.684. For sampling sufficiency, the curve of species accumulation tended to stabilize, whereas for the sampling intensity method in forest inventories, with a tolerable error of 20 %, it was sufficient only when considering the number of species. For the number of individuals, it should register another 11 forophytes to reach the sample adequacy for an admissible error of 20 %. The richness and diversity of vascular epiphytes were found in *Araucaria angustifolia* forophytes, especially the Orchidaceae family, with the crown being the main environment of this group of plants, probably due to the condition provided by the branches.

Keywords: Forest; Epiphytes; Richness and diversity; Vertical sampling zone;

## 4.1 – INTRODUÇÃO

Em um ecossistema florestal, a diversidade de seres vivos presente é muito elevada sendo que todos os grupos possuem suas funções no ambiente para manter a exuberância e a estabilidade do meio.

Em relação às plantas do ecossistema, estas possuem uma função estrutural vital para a formação dos habitats dos outros seres vivos, principalmente dos animais, pois na cadeia trófica, inicialmente, necessita-se de animais herbívoros para posteriormente o surgimento de carnívoros, sendo estes um importante indicativo para determinação de qualidade ambiental. Para a formação destes habitats, as árvores são as principais responsáveis para o condicionamento destes ambientes, partindo de uma dinâmica florestal por meio das espécies pioneiras até as climácicas. Assim, muitas vezes, apenas as árvores são levadas em consideração em levantamentos florísticos deixando os demais grupos de espécies vegetais a mercê dos resultados.

Um grupo de extrema importância para a manutenção desses ecossistemas florestais são as epífitas vasculares. De acordo com Benzig (1990), epífitas vasculares são plantas que vivem sobre outras, como árvores, xaxins e cipós, utilizando-as apenas como suporte, sem parasitá-las. Estes suportes são chamados de forófitos. Ainda, este mesmo autor relatou que as epífitas vasculares contribuem com cerca de 10% da diversidade de todas as plantas vasculares do mundo, sendo um importante componente das florestas tropicais e subtropicais úmidas do planeta. Bonnet *et al.* (2014) destacaram que plantas vasculares englobam as licófitas, samambaias, gimnospermas e angiospermas, não sendo inclusos, por exemplo, os musgos, os quais fazem parte do grupo de epífitas avasculares, ou seja, aquelas que não possuem sistema de condução de água e nutrientes.

Bonnet *et al.* (2014) relataram que, como as epífitas não possuem o solo como fonte de água e nutrientes, elas desenvolveram diversos mecanismos e adaptações de forma e fisiologia como tricomas, pseudobulbos, rosetas e suculência para sobreviver aos períodos do ano em que os recursos são escassos ou indisponíveis.

Kersten e Waechter (2011a) enfatizaram que agrupamentos de epífitas aumentam a diversidade genética da floresta e promovem a redistribuição de recursos nos troncos das árvores e, ainda, o acúmulo de matéria orgânica morta cria uma rica fonte de nutrientes disponível para a fauna e a vegetação acima do solo. Bonnet *et al.* (2014) descreveram que, nas florestas, as epífitas têm relações notáveis com os outros seres vivos que lá habitam, pois servem como local de germinação para outras plantas, além de abrigo e moradia para animais de diversos tamanhos. Como exemplo desta diversidade e formação de micro habitats pelas

epífitas, em um estudo em Antonina, Paraná, Petean (2009) encontrou em um único forófito 79 espécies de epífitas vasculares que equivaliam a, aproximadamente, 701 kg de biomassa.

As epífitas vasculares mais conhecidas são, provavelmente, as orquídeas devido à beleza ímpar de suas flores, o cultivo relativamente fácil em vasos e sua importância econômica, pois podem ser encontradas à venda em floriculturas com preços bastante elevados.

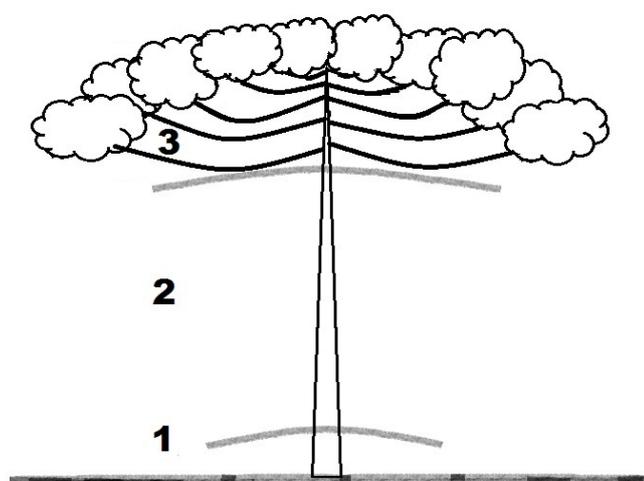
Nos estudos da comunidade epifítica, existem diversas metodologias empregadas na literatura, dificultando a comparação entre os trabalhos. De acordo com Kersten e Waechter (2011b), alguns dos motivos para a ausência de padrão metodológico são as heterogeneidades do ambiente que as epífitas ocupam, formado por uma intrincada rede de galhos e ramos, todos com idades e históricos diferentes e dispostos de maneira irregular nas florestas; e a riqueza específica registrada para as epífitas, especialmente em florestas tropicais úmidas. A grande maioria dos trabalhos com epífitas vasculares encontrados na literatura tratam-se de levantamentos em forófitos em pé, ou seja, a metodologia empregada para a coleta de dados não foi a destrutiva para o forófito ocasionando em registros de espécies de epífitas por meio de caminhadas, binóculos e eventuais escaladas.

Trabalhos que tratam de epífitas de uma única espécie de forófitos são escassos destacando-se os de Gonçalves e Waechter (2002), com *Ficus organensis* na planície costeira do Rio Grande do Sul e Becker e Silva (2015), em indivíduos de *Araucaria angustifolia* e *Dicksonia sellowiana*. Para trabalhos em Floresta Ombrófila Mista, destacam-se os de Kersten e Silva (2002) em floresta aluvial, Buzatto *et al.* (2008) na Floresta Nacional de Passo Fundo, no Rio Grande do Sul e Bianchi e Kersten (2014) em estudo sobre o efeito de borda na comunidade epifítica. É importante destacar que todos estes trabalhos foram realizados sem que o forófito fosse derrubado.

Desta forma, o presente trabalho objetivou avaliar a riqueza e diversidade de epífitas vasculares em indivíduos nativos de *Araucaria angustifolia* manejados em Floresta Ombrófila Mista, bem como categorizá-las em zonas verticais de amostragem.

## 4.2 - MATERIAL E MÉTODOS

Conforme descrito no Capítulo 1, foram avaliadas todas as epífitas vasculares presentes em 30 forófitos de *Araucaria angustifolia*. Todos os indivíduos levantados foram identificados em campo, sempre que possível, e por meio de consulta a especialistas e bibliografia especializada. A quantidade de indivíduos ocorrentes foi registrada, bem como a posição do forófito onde a mesma foi encontrada conforme a divisão vertical para zonas de amostragem proposta por Kersten e Silva (2002) a partir da base de classificação de Johansson (1974), porém, de forma adaptada para a morfologia de *Araucaria angustifolia*, conforme apresentado na Figura 23.



**FIGURA 23:** ESTRATIFICAÇÃO VERTICAL DO FORÓFITO EM TRÊS ZONAS DE AMOSTRAGENS. (1: base - indivíduos ocorrentes até 1,3 m de altura; 2: fuste - indivíduos ocorrentes entre 1,3 m de altura e início da copa; 3: copa - indivíduos ocorrentes no tronco inerente à copa e nos galhos e grimpas.).

A identificação das Angiospermas seguiu o sistema de classificação “*Angiosperm Phylogeny Group*” de acordo com o APG III (2009), enquanto que para as Pteridófitas, utilizou-se a classificação de Smith *et al.* (2008), e todos os nomes científicos foram verificados de acordo com Kaehler *et al.* (2014) no livro “Plantas Vasculares do Paraná”. Após a identificação dos indivíduos de epífitas vasculares encontrados, bem como sua ocorrência em relação ao forófito, foram calculados os seguintes parâmetros fitossociológicos:

- Densidade absoluta e relativa (DA e DR): Total de indivíduos levantados de cada espécie, de forma absoluta e relativa;
- Frequência geral absoluta e relativa (FA e FR): Total de forófitos em que a espécie foi encontrada, de forma absoluta e relativa;
- Frequência absoluta na base do forófito (FAB): Total de bases de forófitos em que a espécie foi encontrada;

- Frequência absoluta no fuste do forófito (FAf): Total de fustes de forófitos em que a espécie foi encontrada;
- Frequência absoluta na copa do forófito (FAc): Total de copas de forófitos em que a espécie foi encontrada;
- Valor de Importância Epifítico em relação às frequências nas zonas de amostragens (VIEpA): Média entre as Frequências absolutas na base, fuste e copa.
- Valor de Importância Epifítico em relação à Densidade e a Frequência geral (VIEpB): Média entre Densidade relativa e Frequência geral relativa;

Foram avaliados também a riqueza de espécie (S) por meio da contagem direta do número de espécies e os Índices de Diversidade de Shannon e de Equabilidade de Pielou por meio das seguintes fórmulas:

$$H' = - \sum p_i \cdot \ln p_i \quad J = \frac{H'}{\ln S}$$

**Em que:**  $H'$ : Índice de Diversidade de Shannon;  $J$ : Índice de Equabilidade de Pielou;  $p_i$ : probabilidade de ocorrência de cada espécie epifítica em relação a densidade;  $\ln$ : Logaritmo Neperiano;  $S$ : Riqueza de espécies.

Diversos estudos tratam os índices de diversidade por meio da frequência nos forófitos, porém, esses estudos abordaram diferentes espécies de forófitos e, geralmente, o levantamento das epífitas vasculares é realizado de forma não destrutiva deste. No presente trabalho, utilizou-se os índices de diversidade da forma tradicional por ter sido realizado em apenas uma espécie de forófito e, como este forófito foi derrubado, foi possível realizar a contagem da densidade absoluta real para todo o organismo.

As espécies de epífitas registradas foram classificadas segundo o grau de dependência ao forófito analisadas a campo conforme proposto por Benzing (1990): holoepífitas habituais: não estabelecem relação com o solo e completam todo o seu ciclo no ambiente epifítico; holoepífitas facultativas: podem ser tanto epífitas, rupícolas ou terrícolas; holoepífitas acidentais: são encontradas ocasionalmente no ambiente epifítico; e hemiepífitas secundárias: após germinar no solo, atingem o forófito e perdem a ligação com o solo.

Para a suficiência amostral do levantamento em relação ao fragmento como um todo, avaliaram-se três metodologias:

- Curva de rarefação;
- Amostragem aleatória simples para o número de indivíduos;
- Amostragem aleatória simples para o número de espécies;

A primeira metodologia foi realizada com auxílio do pacote VEGAN do *software* R utilizando diversas simulações de ordem de entrada das parcelas para compor a curva de

forma mais estável. Esta metodologia é mais empregada em levantamentos fitossociológicos, onde também é denominada como “Curva espécie-área”. As demais metodologias são adaptações de cálculos estatísticos utilizados para intensidade amostral em inventário florestal. A abordagem utilizada foi para Amostragem Aleatória Simples para uma população finita segundo Péllico Netto e Brena (1997).

## **4.3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.3.1 – Resultados gerais**

No presente trabalho foram levantados 2.837 indivíduos de epífitos vasculares pertencentes a 25 espécies classificadas em 21 gêneros e sete famílias. A família com maior número de espécies foi Orchidaceae, com 11 representantes, seguido de Polypodiaceae, com sete espécies. Bromeliaceae e Piperaceae apresentaram duas espécies cada e, as demais famílias, apenas uma espécie, conforme apresentado na Tabela 30. Segundo Madison (1977), Orchidaceae, Polypodiaceae e Bromeliaceae são tradicionalmente descritas como as famílias mais ricas em espécies epifíticas em diversos biomas.

Do total de indivíduos encontrados, 54,78% pertenceram à família Polypodiaceae, 27,88% a Orchidaceae, 13,57% a Bromeliaceae, 2,82% a Piperaceae, 0,67% a Cactaceae, 0,25% a Hymenophyllaceae e 0,04% a Apiaceae, sendo esta última com apenas um representante de uma espécie exótica. A distribuição da abundância dos indivíduos em relação as zonas de amostragem foram: 13,43% encontraram-se na base dos forófitos amostrados, 17,41% no fuste e 69,16% na copa.

Dentre todas as espécies registradas, 23 (92%) apresentaram-se como holoepífitas habituais enquanto duas como holoepífitas acidentais, representando apenas 8% do total de espécies encontradas. Essa predominância de holoepífitas habituais é relatada em diversos trabalhos em Floresta Ombrófila Mista como no estudo de Borgo e Silva (2003) em que 83,3% do total foi classificado como holoepífita habitual, Kersten e Waechter (2011a) que classificaram 89% das espécies como holoepífitas habituais e Becker *et al.* (2015) em que classificaram 84,1% de espécies nesta categoria.

**TABELA 30: ESPÉCIES E RESPECTIVAS FAMÍLIAS ENCONTRADAS NO PRESENTE TRABALHO**

FAMÍLIA	ESPÉCIE	Reg. HUCO*
APIACEAE	<i>Centella asiatica</i> (L.) Urb.	7360
BROMELIACEAE	<i>Aechmea recurvata</i> (Klotzsch) L.B. Sm.	7358
	<i>Tillandsia tenuifolia</i> L.	7348
CACTACEAE	<i>Rhipsalis floccosa</i> Salm-Dyck ex Pfeiff.	7366
HYMENOPHYLLACEAE	<i>Hymenophyllum polyanthos</i> (Sw.) Sw.	7362
ORCHIDACEAE	<i>Acianthera hygrophila</i> (Barb. Rodr.) Pridgeon & M.W. Chase	7367
	<i>Acianthera sonderiana</i> (Rchb. f.) Pridgeon & M.W. Chase	7346
	<i>Anathallis johnsonii</i> Luer & Toscano	7357
	<i>Campylocentrum grisebachii</i> Cogn.	7352
	<i>Capanemia micromera</i> Barb. Rodr.	7349
	<i>Coppensia ranifera</i> (Lindl.) F. Barros & V.T. Rodrigues	-
	<i>Leptotes unicolor</i> Barb. Rodr.	-
	<i>Octomeria hatschbachii</i> Schltr.	7347
	<i>Pabstiella varellae</i> Toscano, Luer & Ja. Klein	7364
	<i>Pleurobotryum hatschbachii</i> (Schltr.) Hoehne	7361
PIPERACEAE	<i>Zygostates dasyrhiza</i> (Kraenzl.) Schltr.	-
	<i>Peperomia tetraphylla</i> Hook. & Arn	7365
POLYPODIACEAE	<i>Peperomia trineura</i> Miq.	7355
	<i>Campyloneurum austrobrasilianum</i> (Alston) de la Sota	7350
	<i>Microgramma squamulosa</i> (Kaulf.) de la Sota	7353
	<i>Microgramma vacciniifolia</i> (Langsd. & Fisch.) Copel.	7363
	<i>Pecluma sicca</i> (Lindm.) M.G. Price	7356
POLYPODIACEAE	<i>Pleopeltis hirsutissima</i> (Raddi) de la Sota	7354
	<i>Pleopeltis pleopeltifolia</i> (Raddi) Alston	7359
	<i>Serpocaulon catharinae</i> (Langsd. & Fisch.) A.R. Sm.	7351

\* Número de registro no Herbário da Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO.

Becker *et al.* (2015), em estudo de epífitas vasculares de 20 indivíduos de Araucária na Floresta Nacional de São Francisco de Paula, RS, registraram 20 espécies, sendo destas, 15 samambaias (Pteridófitas). Dentre as espécies levantadas por esse autor, apenas cinco constam no presente estudo sendo quatro pertencentes à família Polypodiaceae (*Campyloneurum austrobrasilianum*, *Microgramma squamulosa*, *Pleopeltis hirsutissima* e *Pleopeltis pleopeltifolia*) e uma a Piperaceae (*Peperomia trineura*). Esta última espécie foi encontrada apenas na base dos forófitos no presente estudo, porém com alguns indivíduos nas proximidades sobre a serapilheira, enquanto Becker *et al.* (2015) a consideraram como holoepífita verdadeira, ou seja, que não estabelecem relação com o solo e completam todo o seu ciclo em ambiente epifítico.

A espécie *Centella asiatica*, apesar de pouco representativa, encontra-se na Lista de Espécies Exóticas Invasoras do Estado do Paraná (IAP, 2015), e de acordo com Lorenzi

(2008), esta planta é medicinal e está amplamente disseminada no Brasil, principalmente na planície litorânea, em áreas abertas (pastagens, terrenos baldios e beira de estradas), onde é considerada “planta daninha”. A ocorrência dessa espécie, no atual estudo, foi próxima à borda do fragmento onde há uma estrada rural e, nas proximidades, áreas agrícolas, convergindo ao que Lorenzi (2008) descreveu. Ainda, esse mesmo autor, caracterizou esta espécie como uma erva perene e rasteira e, para o presente estudo, ela foi classificada como holoepífita accidental pelo fato de ter sido observado, durante as coletas, diversos indivíduos sobre o solo e, raramente, no ambiente epifítico.

No trabalho de Borgo e Silva (2003), em 14 fragmentos de Floresta Ombrófila Mista na região de Curitiba, PR, somando uma expressiva área de 97 hectares, incluindo florestas aluviais, foram registradas 96 espécies de epífitos vasculares nativos e dez exóticos. Considerando que no presente trabalho, o estudo foi realizado apenas em forófitos da espécie de *Araucaria angustifolia* em uma área de três hectares, a riqueza relativa foi muito expressiva representando 25% do número total de espécies encontradas por Borgo e Silva (2003).

Diversos autores relataram que a riqueza de epífitos vasculares em *Araucaria angustifolia* é baixa, como Mattos (2011) que considerou apenas 24 espécies em seu livro “O Pinheiro Brasileiro”. Porém, destas 24, apenas uma espécie foi registrada no presente estudo, *Pleopeltis hirsutissima*, enfatizando a importância de estudos mais aprofundados por espécies de forófitos.

Dentre as espécies encontradas, apenas duas ocorreram em todos os forófitos amostrados, sendo *Microgramma squamulosa* e *Pleopeltis hirsutissima*, ambas pertencentes à família Polypodiaceae. Em contrapartida, seis espécies ocorreram apenas em um forófito: *Anathallis johnsonii*, *Centella asiatica*, *Hymenophyllum polyanthos*, *Leptotes unicolor*, *Serpocaulon catharinae* e *Zygostates dasyrhiza*.

Em relação a riqueza de espécie por zona de amostragem, 48% (12 espécies) ocorreram na base dos forófitos, 40% (dez espécies) no fuste e 84% (21 espécies) na copa. A discriminação da riqueza de Famílias, Gêneros e Espécies em relação às zonas de amostragem está apresentada na Tabela 31.

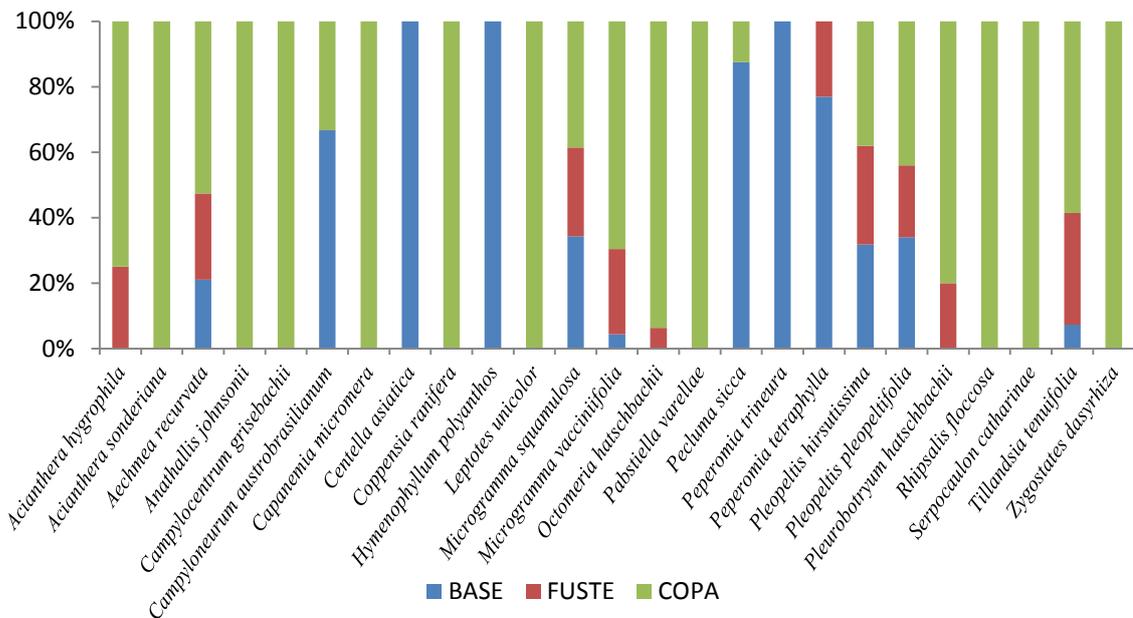
**TABELA 31: RIQUEZA DE ESPÉCIES, GÊNEROS E FAMÍLIAS NAS ZONAS DE AMOSTRAGEM**

	Riqueza		
	Base	Fuste	Copa
<b>Espécies</b>	12	10	21
<b>Gêneros</b>	9	8	18
<b>Famílias</b>	5	4	4

O número de espécies e gêneros encontrados na copa foi superior ao encontrado na base, porém, considerando-se a quantidade de famílias ocorrentes, a base superou o fuste, pois, a diversidade de espécies e gêneros encontrados na copa, muitas vezes enquadraram-se em uma mesma família, como exemplo, a família Orchidaceae, que teve 11 espécies representantes sendo destas, nove exclusivas da copa.

Dentre todas as espécies levantadas, três ocorreram exclusivamente na base (*Centella asiatica*, *Hymenophyllum polyanthos* e *Peperomia trineura*) enquanto dez foram encontradas apenas na copa e, para o fuste não houve espécie exclusiva. Ainda, seis espécies apresentaram-se ao longo das três zonas de amostragens sendo *Aechmea recurvata*, *Microgramma squamulosa*, *Microgramma vacciniifolia*, *Pleopeltis hirsutissima*, *Pleopeltis pleopeltifolia* e *Tillandsia tenuifolia*. A distribuição relativa entre indivíduos e zonas de amostragem por espécie é apresentada na Figura 24.

Buzatto *et al.* (2008) registraram, para a Floresta Nacional de Passo Fundo, 44 espécies de epífitos vasculares, distribuídas em 28 gêneros e 12 famílias. Considerando apenas os epífitos encontrados em *Araucaria angustifolia*, a riqueza foi de 27 espécies, distribuídas em 16 gêneros e sete famílias. Destas, apenas sete foram encontradas no presente trabalho: *Pecluma sicca*, *Peperomia tetraphylla*, *Campyloneurum austrobrasilianum*, *Rhipsalis floccosa*, *Campylocentrum burchelli* (Sinônimo para *C. grisebachii*), *Microgramma squamulosa* e *Pleopeltis hirsutissima*. Ainda, esses autores registraram maior riqueza na base em relação à copa da árvore, com 17 e 15 espécies, respectivamente. Entretanto o presente trabalho encontrou uma riqueza consideravelmente superior de espécies na copa em relação à base (12 e 21, respectivamente).



**FIGURA 24:** DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DOS INDIVÍDUOS LEVANTADOS EM ZONAS DE AMOSTRAGEM.

Apesar de a quantidade de espécies serem muito próximas, a baixa similaridade entre as espécies ocorrentes pode ser devido à distância geográfica e o estado de conservação e histórico da floresta, pois o presente trabalho foi realizado em um fragmento pequeno de 20 ha localizado em uma propriedade rural enquanto Buzatto *et al.* (2008) realizaram seus estudos na Floresta Nacional de Passo Fundo. A metodologia de coleta de dados desses autores também pode ter relação com esta baixa similaridade, pois eles coletaram os dados por meio de ramos caídos próximos aos forófitos, observação da copa com binóculo e eventuais escaladas.

#### 4.3.2 – Florística e diversidade

Considerando o Valor de Importância Epifítico como as médias das frequências absolutas por zonas verticais de amostragem (VIEpA), a *Microgramma squamulosa* aparece como a espécie mais representativa neste estudo, com VIEpA de 77,78%, seguida de *Pleopeltis hirsutissima* (70,00%) e *Pleopeltis pleopeltifolia* (55,56%), apresentado na Tabela 32. Esses valores expressivos ocorreram devido a não especificidade de zona de amostragem de tais espécies, possuindo comportamento mais generalista em relação à área de fixação.

Quando calculado o Valor de Importância Epifítico baseando-se na densidade relativa e frequência geral relativa (VIEpB), a sequência de importância alterou-se devido a elevada abundância de algumas espécies. As duas primeiras espécies, *Microgramma squamulosa* e *Pleopeltis hirsutissima*, mantiveram-se na mesma posição, pois, além de serem as únicas espécies que ocorreram em todos os forófitos, normalmente foram registradas, também, grandes quantidades de indivíduos. *Pabstiella varellae*, por exemplo, encontrava-se na sétima

posição no primeiro método de caracterização e, no segundo método, foi a terceira espécie mais representativa graças às elevadas quantidades de indivíduos que foram registrados, normalmente agrupados em poucos galhos (Tabelas 32 e 33). Dentre todos os indivíduos levantados, quatro espécies apresentaram apenas um indivíduo cada: *Centella asiatica*, *Leptotes unicolor*, *Serpocaulon catharinae* e *Zigostates dasyrhiza* mantendo-se com os menores valores de importância nas duas metodologias.

Normalmente não se utiliza o parâmetro de densidade para cálculos de florística em epífitos vasculares, como apresentado na Tabela 33, por ser uma variável de difícil obtenção em amostragens não destrutivas, porém, no presente trabalho, o forófito foi abatido e, assim, tornando possível a contagem dos indivíduos nas zonas de amostragem.

**TABELA 32:** CLASSIFICAÇÃO DAS ESPÉCIES EM RELAÇÃO AO VALOR DE IMPORTÂNCIA EPIFÍTICO BASEADO NAS FREQUÊNCIAS DOS INDIVÍDUOS POR ZONA DE AMOSTRAGEM

Espécie	N Base	N Fuste	N Copa	FAb	F Af	F Ac	VI EpA
<i>Microgramma squamulosa</i>	24	19	27	80,00	63,33	90,00	77,78
<i>Pleopeltis hirsutissima</i>	20	19	24	66,67	63,33	80,00	70,00
<i>Pleopeltis pleopeltifolia</i>	17	11	22	56,67	36,67	73,33	55,56
<i>Tillandsia tenuifolia</i>	3	14	24	10,00	46,67	80,00	45,56
<i>Microgramma vacciniifolia</i>	1	6	16	3,33	20,00	53,33	25,56
<i>Aechmea recurvata</i>	4	5	10	13,33	16,67	33,33	21,11
<i>Pabstiella varellae</i>	0	0	17	0,00	0,00	56,67	18,89
<i>Acianthera hygrophila</i>	0	4	12	0,00	13,33	40,00	17,78
<i>Octomeria hatschbachii</i>	0	1	15	0,00	3,33	50,00	17,78
<i>Peperomia tetraphylla</i>	10	3	0	33,33	10,00	0,00	14,44
<i>Rhipsalis floccosa</i>	0	0	11	0,00	0,00	36,67	12,22
<i>Campylocentrum grisebachii</i>	0	0	9	0,00	0,00	30,00	10,00
<i>Pecluma sicca</i>	7	0	1	23,33	0,00	3,33	8,89
<i>Capanemia micromera</i>	0	0	7	0,00	0,00	23,33	7,78
<i>Pleurobotryum hatschbachii</i>	0	1	4	0,00	3,33	13,33	5,56
<i>Acianthera sonderiana</i>	0	0	4	0,00	0,00	13,33	4,44
<i>Campyloneurum austrobrasillianum</i>	2	0	1	6,67	0,00	3,33	3,33
<i>Coppensia ranifera</i>	0	0	2	0,00	0,00	6,67	2,22
<i>Peperomia trineura</i>	2	0	0	6,67	0,00	0,00	2,22
<i>Anathalis johnsonii</i>	0	0	1	0,00	0,00	3,33	1,11
<i>Centella asiatica</i>	1	0	0	3,33	0,00	0,00	1,11
<i>Hymenophyllum polyanthos</i>	1	0	0	3,33	0,00	0,00	1,11
<i>Leptotes unicolor</i>	0	0	1	0,00	0,00	3,33	1,11
<i>Serpocaulon catharinae</i>	0	0	1	0,00	0,00	3,33	1,11
<i>Zigostates dasyrhiza</i>	0	0	1	0,00	0,00	3,33	1,11

**Em que:** N Base: Número absoluto de Bases; N Fuste: Número absoluto de Fustes; N Copa: Número absoluto de Copas; FAb: Frequência absoluta de Bases; F Af: Frequência absoluta de Fustes; F Ac: Frequência absoluta de Copas; VI EpA : Valor de Importância Epifítico baseado nas frequências absolutas das espécies nas zonas de amostragem.

Kersten *et al.* (2009), comparando a diversidade de epífitas em florestas de encosta e de planície em área de Floresta Ombrófila Mista, registraram 54 espécies sendo 18 em ambas as florestas, 24 apenas na planície e 12 exclusiva da encosta. Esses autores relataram que a espécie mais importante foi a *Microgramma squamulosa*, conforme também encontrado no presente estudo pelas duas metodologias empregadas. Esta espécie, de acordo com Bonnet *et al.* (2014) possui ampla distribuição e crescem em locais com luminosidades distintas, como troncos de árvores e galhos da copa. Desta forma, ela encontra-se bem adaptada em diversos ambientes, inclusive os urbanos, ocorrendo em abundância ao longo de todo o forófito.

**TABELA 33:** CLASSIFICAÇÃO DAS ESPÉCIES EM RELAÇÃO AO VALOR DE IMPORTÂNCIA EPIFÍTICO BASEADO NA DENSIDADE E FREQUÊNCIA GERAL DOS INDIVÍDUOS POR FORÓFITO

<b>Espécie</b>	<b>DA</b>	<b>DR</b>	<b>FA</b>	<b>FR</b>	<b>VIepB</b>
<i>Microgramma squamulosa</i>	725	25,56	100,00	11,54	18,55
<i>Pleopeltis hirsutissima</i>	400	14,10	100,00	11,54	12,82
<i>Pabstiella varellae</i>	534	18,82	56,67	6,54	12,68
<i>Tillandsia tenuifolia</i>	358	12,62	96,67	11,15	11,89
<i>Pleopeltis pleopeltifolia</i>	238	8,39	86,67	10,00	9,19
<i>Microgramma vacciniifolia</i>	108	3,81	56,67	6,54	5,17
<i>Octomeria hatschbachii</i>	129	4,55	50,00	5,77	5,16
<i>Peperomia tetraphylla</i>	75	2,64	40,00	4,62	3,63
<i>Acianthera hygrophila</i>	44	1,55	43,33	5,00	3,28
<i>Aechmea recurvata</i>	27	0,95	46,67	5,38	3,17
<i>Pecluma sicca</i>	72	2,54	26,67	3,08	2,81
<i>Rhipsalis floccosa</i>	19	0,67	36,67	4,23	2,45
<i>Capanemia micromera</i>	44	1,55	23,33	2,69	2,12
<i>Campylocentrum grisebachii</i>	18	0,63	30,00	3,46	2,05
<i>Pleurobotryum hatschbachii</i>	9	0,32	16,67	1,92	1,12
<i>Acianthera sonderiana</i>	7	0,25	13,33	1,54	0,89
<i>Campyloneurum austrobrasilianum</i>	10	0,35	10,00	1,15	0,75
<i>Peperomia trineura</i>	5	0,18	6,67	0,77	0,47
<i>Coppensia ranifera</i>	2	0,07	6,67	0,77	0,42
<i>Hymenophyllum polyanthos</i>	7	0,25	3,33	0,38	0,32
<i>Anathalis johnsonii</i>	2	0,07	3,33	0,38	0,23
<i>Centella asiatica</i>	1	0,04	3,33	0,38	0,21
<i>Leptotes unicolor</i>	1	0,04	3,33	0,38	0,21
<i>Serpocaulon catharinae</i>	1	0,04	3,33	0,38	0,21
<i>Zigostates dasyrhiza</i>	1	0,04	3,33	0,38	0,21

**Em que:** **DA:** Densidade Absoluta; **DR:** Densidade Relativa; **FA:** Frequência Absoluta; **FR:** Frequência Relativa; **VIepB** : Valor de Importância Epifítico baseado na densidade e frequência geral por forófito.

Uma espécie que merece destaque é *Pabstiella varellae*, pois, de acordo com Toscano de Brito e Luer (2013), esta espécie aparentemente seria endêmica do Rio Grande do Sul, em Floresta Ombrófila Mista, com preferência por indivíduos de *Araucaria angustifolia*. Em relação ao endemismo, é possível confirmar que não se trata de uma espécie exclusiva do Rio

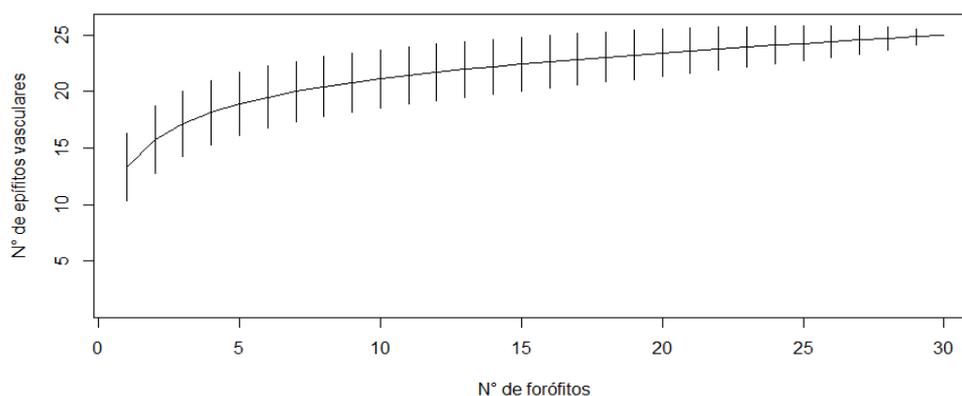
Grande do Sul pelo fato de ter ocorrido em mais da metade dos forófitos estudados no presente trabalho e em grande abundância, porém, apenas na copa dos forófitos dificultando o registro dessa espécie.

Becker *et al.* (2015) também registraram elevada frequência e abundância de *Microgramma squamulosa* e *Pleopeltis hirsutissima* em Araucárias, assim como no presente estudo, em que estas duas espécies foram as únicas encontradas em todos os forófitos levantados. *M. squamulosa* também foi descrita como a espécie com maior abundância e frequência em um estudo de Geraldino *et al.* (2010) em área de ecótono entre Floresta Ombrófila Mista e Floresta Estacional Semidecidual, no município de Campo Mourão, Paraná. Segundos esses autores, esta espécie ainda foi a que ocorreu em maior número de espécies de forófitos, evidenciando sua adaptação em diferentes características de ritidomas e, ainda, consideraram que a Araucária apresentou pouca riqueza e diversidade de epífitas vasculares.

Para a Diversidade florística, a comunidade estudada apresentou valores de 2,202 e 0,684, respectivamente para o Índice de Shannon e Pielou. Por meio de uma metodologia diferente do presente estudo, Kersten *et al.* (2009) encontraram Índices de Shannon de 2,754 e 2,556 e Pielou de 0,781 e 0,777 para florestas de planície e encosta, respectivamente, em fragmento de Floresta Ombrófila Mista. Estes valores foram considerados baixos e, segundo os autores, foi, possivelmente, reflexo do rigor do clima imposto tanto pela menor pluviosidade quanto pela baixa temperatura durante os meses de inverno. Geraldino *et al.* (2010), empregando a mesma metodologia de Kersten *et al.* (2009), registraram Índices de Shannon e Pielou de 3,15 e 0,863, respectivamente, em área de ecótono entre Floresta Ombrófila Mista e Floresta Estacional Semidecidual na cidade de Campo Mourão, PR.

#### **4.3.3 – Suficiência amostral**

A curva de acumulação de espécies apresentou tendência à estabilização com 30 unidades amostrais, sendo que o desvio também se mostrou reduzido indicando possível suficiência amostral conforme apresentado na Figura 25.



**FIGURA 25:** CURVA DE RAREFAÇÃO.

Em relação à suficiência amostral por meio das técnicas usuais de inventário florestais, considerou-se o total para a população estudada (N) como o número total de Araucárias acima de 40 cm de diâmetro levantado no censo dos três hectares trabalhados. Em relação ao número de forófitos a serem levantados para que houvesse suficiência amostral para o número de indivíduos de epífitas vasculares, não houve suficiência, pois com erros admissíveis de 20%, o mínimo de árvores a serem registradas deveria ser 41. Porém, para o número de espécies de epífitas, houve suficiência amostral com apenas dez forófitos, considerando-se erro admissível de 20%. Para erro de 10%, o ideal seria fazer o levantamento de epífitas em mais sete forófitos conforme apresentado na Tabela 34.

**TABELA 34:** RESULTADOS DOS CÁLCULOS DE AMOSTRAGEM PARA NÚMERO DE INDIVÍDUOS E DE ESPÉCIES DE EPÍFITAS

	<b>Indivíduos</b> (ind/árvores)	<b>Espécies</b> (spp/árvores)
<b>Média</b>	94,6	8,7
<b>Máximo</b>	304	16
<b>Mínimo</b>	11	4
<b>s</b>	64	3
<b>CV (%)</b>	67,35	31,83
<b>Amostragem</b>		
<i>Erro Absoluto</i>	22,5	1,0
<i>Erro Relativo (%)</i>	23,77	11,23
<i>Total para população</i>	26479	-
<b>n ótimo de árvores</b>		
<i>20% erro</i>	41	10
<i>10% erro</i>	113	37

**Em que:** *ind/árv*: indivíduos de epífitas por árvore; *spp/árv*: espécies de epífitas por árvore; **s**: Desvio padrão; **CV**: Coeficiente de Variação, em porcentagem; **n ótimo**: Quantidade ideal de forófitos a serem levantados para atender o erro admissível.

Vale ressaltar o elevado coeficiente de variação apresentado principalmente para o número de indivíduos (67,35%) devido ao elevado número de epífitas em alguns forófitos e

baixo em outros. Bianchi e Kersten (2014) relataram em estudo de efeito de borda na ocorrência de epífitas vasculares em Floresta de Araucária, que pelo menos os primeiros 60 m de borda influenciam na população das epífitas em relação à riqueza, diversidade e biomassa. No presente estudo, alguns forófitos estudados encontravam-se muito próximos a borda do fragmento, podendo ser esta uma explicação plausível para estes elevados valores de coeficiente de variação. Outro ponto a destacar é a elevada quantidade de epífitas esperadas para uma pequena área de três hectares. Esta extrapolação foi feita apenas para os indivíduos de forófitos de *Araucaria angustifolia* com DAP acima de 40 centímetros, portanto, para o fragmento completo, este número é muito maior.

#### 4.4 - CONCLUSÕES

- Do total de indivíduos encontrados, a família Orchidaceae foi a que apresentou maior riqueza, com 11 espécies, enquanto a família Polypodiaceae apresentou maior abundância representando 54,78% do total de indivíduos levantados. Fato sucedido devido às espécies *Microgramma squamulosa* e *Pleopeltis hirsutissima*, pertencentes à família Polypodiaceae, possuírem comportamento generalista e terem ocorrido em todos os forófitos e em todas as zonas de amostragens.
- A copa apresentou o maior número de espécies (21) e indivíduos (69,16%) devido às condições em que os galhos proporcionam. O Fuste apresentou menor riqueza em relação à base, porém maior abundância.
- Do total de espécies registradas, dez ocorreram exclusivamente na copa, sendo a maioria destas pertencentes à família Orchidaceae e três ocorreram apenas na base sendo duas holoepífitas acidentais. Das seis espécies que ocorreram nas três zonas de amostragens, quatro pertencem a família Polypodiaceae e apresentam comportamentos mais generalistas, e duas a família Bromeliaceae, sendo estas relativamente comum na região.
- Para a suficiência amostral, a curva de acumulação de espécies apresentou tendência à estabilização e as técnicas de inventário apresentaram suficiência na intensidade amostral, para o número de espécies, a um erro de amostragem admissível de 20%. Porém para o número de indivíduos, não foi atingido o número mínimo de forófitos devido ao elevado coeficiente de variação.

#### 4.5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BECKER, D. F. P.; MÜLLER, A.; SCHMITT, J. L. Influência dos forófitos *Dicksonia sellowiana* e *Araucaria angustifolia* sobre a comunidade de epífitos vasculares em Floresta com Araucária. **Rev Floresta**, Curitiba, PR, v. 45, p. 781-790, out./dez. 2015.
- BENZING, D. H. **Vascular epiphytes**. Cambridge University Press, Cambridge. 1990. 354 p.
- BIANCHI, J. S.; KERSTEN, R. A. Edge effect on vascular epiphytes in a subtropical Atlantic Forest. **Acta bot. bras.**, v. 28, n. 1, p. 120-126, 2014.
- BOELTER, C. R.; FONSECA, C. R. Abundância, riqueza e composição de epífitos vasculares em Floresta com Araucária e monoculturas arbóreas. **Anais**, VIII Congresso de Ecologia do Brasil, Caxambu, MG, 2007.
- BONNET, A. ... [et al.] Epífitos da Floresta Ombrófila Densa de Santa Catarina: Um guia de campo. Edifurb, **Inventário Florestal Florístico de Santa Catarina**; v. 6. 2014.
- BORGO, M.; SILVA, S. M. Epífitos Vasculares em fragmentos de Floresta Ombrófila Mista, Curitiba, Paraná, Brasil. **Revista Brasil. Bot.**, v. 26, n. 3, p. 391-401, jul./set., 2003.
- BUZATTO, C. R.; SEVERO, B., M., A., WAECHTER, J. L. Composição florística e distribuição ecológica de epífitos vasculares na Floresta Nacional de Passo Fundo, Rio Grande do Sul. **Iheringia**, Sér. Bot., Porto Alegre, v. 63, n. 2, p. 231-239, jul./dez., 2008.
- FELFILI, J. M.; EISENLOHR, P. V.; MELO, M. M. R. F.; ANDRADE, L. A.; MEIRA NETO, J. A. A. **Fitossociologia no Brasil**. Viçosa, MG, Ed. UFV; 2011.
- GERALDINO, H. C. L.; CAXAMBÚ, M. G.; SOUZA, D. C. Composição florística e estrutura da comunidade de epífitas vasculares em uma área de ecótono em Campo Mourão, Pr, Brasil. **Acta bot. bras.** V. 24, n. 2, p. 469-482, 2010.
- GIONGO, C.; WAECHTER, J. L. Composição florística e estrutura comunitária de epífitos vasculares em uma floresta de galeria na Depressão Central do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 27, n. 3, p. 563-572. 2004.
- GONÇALVES, C. N.; WAECHTER, J. L. Epífitos vasculares sobre espécimes de *Ficus organensis* isolados no norte da Planície Costeira do Rio Grande do Sul: Padrões de abundância e distribuição. **Acta bot. bras.** v. 16, n. 4, p. 429-441, 2002.
- INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ (IAP). **Portaria nº 59**, de 15 de Abril de 2015.
- JOHANSSON, D. Ecology of vascular epiphytes in West African rain forest. **Acta Phytogeographica Suecica**, v. 59, p. 1-129, 1974.
- KERSTEN, A. R.; SILVA, S. M. Florística e estrutura do componente epifítico vascular em Floresta Ombrófila Mista alluvial do rio Barigüi, Paraná, Brasil. **Rev. Bras. Bot.** v. 25, n. 3, p. 259-267, set. 2002.
- KERSTEN, R. A.; KUNIYOSHI, Y. S.; RODERJAN, C. V. Epífitas vasculares em duas formações ribeirinhas adjacentes na bacia do rio Iguaçu – Terceiro Planalto Paranaense. **Iheringia**, Sér. Bot., Porto Alegre, RS, v. 64, n. 1, p. 33-43, jan./jun. 2009.

KERSTEN, R. A.; WAECHTER, J. L. Florística e estrutura de epífitas vasculares na transição entre as Florestas Ombrófilas Densa e Mista da vertente Oeste da Serra do Mar Paranaense, Brasil. In: FELFILI, J. M.; EISENLOHR, P. V.; MELO, M. M. R. F.; ANDRADE, L. A.; NETO, J. A. A. M. **Fitossociologia no Brasil**. Viçosa, MG, Ed. UFV; 2011a.

KERSTEN, R. A.; WAECHTER, J. L. Métodos quantitativos no estudo de comunidades epifíticas. In: FELFILI, J. M.; EISENLOHR, P. V.; MELO, M. M. R. F.; ANDRADE, L. A.; NETO, J. A. A. M. **Fitossociologia no Brasil**. Viçosa, MG, Ed. UFV; 2011b.

LORENZI, H. **Plantas medicinais no Brasil**: nativas e exóticas. 2ª ed, Nova Odessa, SP, Instituto Plantarum, 2008.

MADISON, M. Vascular epiphytes: Their systematic occurrence and saliente features. **Selbyana**, v. 2, n. 1, p. 1-13, ago. 1977.

MATTOS, J. R. **O Pinheiro Brasileiro**. Florianópolis, SC, Ed. da UFSC. 2011.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA D. A. **Inventário Florestal**. Curitiba, PR, Editorado pelos autores, 1997.

PETEAN, M. P. **As epífitas vasculares em uma área de Floresta Ombrófila Densa em Antonina, PR**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), UFPR, Curitiba, PR. 2009.

SMITH, A. R.; PRYER, E. S.; KORALL, P.; SCHNEIDER, H. WOLF, P. G. Fern classification. In: RANKER, T. A. e HAUFLER, C. H. **Biology and evolution of ferns and lycophytes**. Cambridge, Cambridge University Press. 2008.

APG (The Angiosperm Phylogeny Group). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. **Botanical Journal of the Linnean Society**. V. 161; p. 105-121. 2009.

KAEHLER, M.; GOLDENBERG, R.; EVANGELISTA, P. H. L.; RIBAS, O. S.; VIEIRA, A. O. S.; HATSCHBACH, G. G. **Plantas vasculares do Paraná**. Curitiba, PR, Departamento de Botânica, 2014.

TOSCANO DE BRITO, A. L. V.; LUER, C. A. Reconsideration of *Pabstiella pleurothalloides* and description of *Pabstiella varellae*, a new species confused with *Pabstiella campestris* (Pleurothallidinae: Orchidaceae). **Harvard Papers in Botany**, v. 18, n. 2, p. 241-257, 2013.

## 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Os galhos de Araucária geralmente são tratados como resíduos de pouca importância. Esse compartimento tem extrema importância para a ciclagem de nutrientes e exuberância em Floresta Ombrófila Mista, principalmente em áreas de dominância de Araucária, porque esta espécie possui um comportamento de transição de morfologia, em que a desrama natural é muito característica sendo que os galhos e grimpas caem sobre o solo e alimentam o ciclo biogeoquímico de forma expressiva nesses ecossistemas. Por meio de estudos de idade desses galhos e quantificação de nutrientes e carbono, poder-se-ia ter melhor noção da dinâmica destes elementos em fragmentos florestais, colaborando para o melhor entendimento da importância deste compartimento em fragmentos florestais em um contexto temporal.

Galhos mais velhos de Araucária possuem grandes dimensões como citados nesta pesquisa, em que a maior circunferência de base atingiu 42 cm (13,4 cm de diâmetro) e o maior comprimento, 9,2 m. Galhos deste porte podem ser utilizados para usos mais específicos, inclusive madeireiros menos nobres, pois possuem volumes consideráveis e assim, acabam ajudando a conservação de árvores nativas de Araucária. Entretanto, deve ser feito um manejo adequado desses galhos para que não prejudique as atividades biológicas da árvore.

Pesquisas como o atual estudo em árvores nativas corroboram para aprimorar o conhecimento e a importância da Araucária no ecossistema florestal. Foi constatada na pesquisa que árvores de grande porte, provavelmente centenárias, possuem elevada biomassa composta principalmente de carbono, colaborando com a redução do aquecimento global, bem como funcionam como reservatório de água para o ambiente, devido ao alto teor de umidade. Por meio desses estudos, melhoram-se os métodos indiretos para estimativas de biomassa podendo ser utilizado em outros fragmentos florestais sem ter que se utilizar do método direto.

É importante destacar a rica flora epifítica encontrada nesta espécie de forófito destacando-se, principalmente, a diversidade de orquídeas. Este grupo de plantas possui alto valor ecológico e, algumas espécies, econômico sendo que estudos mais detalhados sobre epífitas em Araucária devem ser conduzidos para conhecer melhor esta comunidade ainda pouco explorada nesta espécie de forófito por tratar-se da espécie florestal mais representativa do Sul do Brasil.